

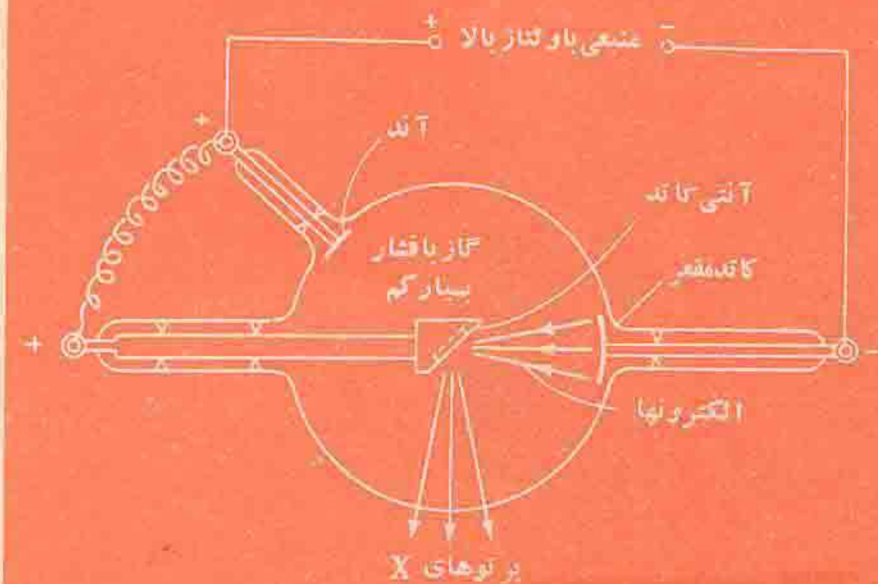
جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تعلیم و تعلم عبادت است

سال سوم

آموزش متوسطهٔ عمومی

فیزیک

ریاضی و فیزیک



بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک

سال سوم

آموزش متوسطهٔ عمومی

ریاضی و فیزیک

پدیدآورندگان

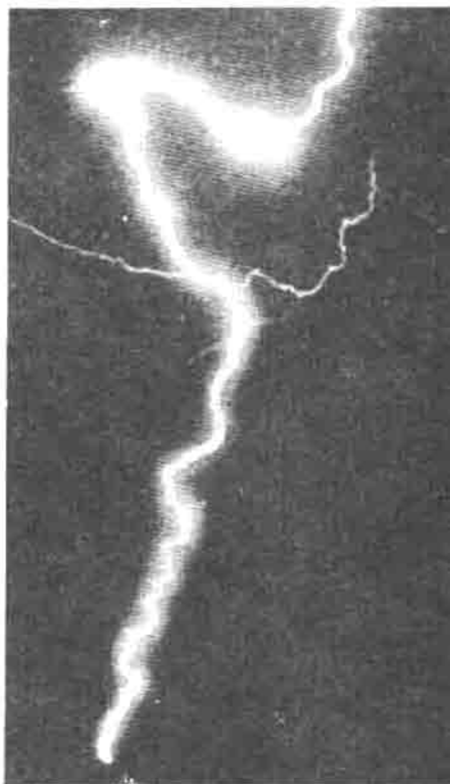
مؤلفان ◀ • ابوالقاسم قلمسیاه • محمدعلی پیغامی
کارشناس ◀ اسفندیار معتمدی
صفحه پرداز ◀ طهمورث حسن‌پور
رسام ◀ خسرو مدیریان
چاپ از ◀ چاپ از : چاپخانه پایا کرج

۱۳۶۰



۱

الکتریسیتهٔ ساکن



دراین بخش ما، دوباره، به‌بررسی ساختمان ماده‌برمی‌گردیم و پی می‌بریم که ماده به‌طور کلی دارای دو نوع بـار الکتریکی مثبت و منفی است. بارالکتریکی در ماده همواره به‌صورت مضربی از یك بار الکتریکی پایه است که در پروتون یا الکترون وجـود دارد. بنابراین‌الکتریسیته هم مانند ماده، ساختمان دانه‌ای دارد.

با بررسی خواص بارهای الکتریکی، بهتر به‌ماهیت ماده پی می‌بریم. **مثلا این خاصیت کـه بـارهای الکتریکی همنوع یکدیگر را می‌رانند و بارهای الکتریکی با نوع مخالف یکـدیگر را می‌ربایند، این واقعیت را نشان می‌دهد که درون ماده نیروهای الکتریکی موجود است: نیروهای پیوستگی بین مولکولهای اجسام جامد یا مایع به سبب وجود نیروهای جاذبهٔ الکتریکـی بین بارهای الکتریکی از نوع مخالف است و نیروهای مقاومی که به هنگام تراکم ماده ظاهر می‌شوند به علت وجود نیروهای رانش بین بارهای‌الکتریکی همنوع‌است.**

حرکت‌این بارهای الکتریکی، موجب‌تولیدجریان‌الکتریسیته، یا به‌اصطلاح متداول، جریان برق می‌شود که ما در خانه وصنعت از آن استفاده می‌کنیم. این واقعیت‌که جریان برق می‌تواندموتورها را به‌کار اندازد و کار انجام دهد نشان می‌دهدکـه الکتریسیته حامل انرژی است و چنان که مـی‌دانید این انرژی به گرمـا و نـور و صورتهای دیگر انرژی تبدیل می‌شود.

تولیدالکتریسیتهٔ ساکن به‌وسیلهٔ مالش

می‌دانید هرگاه شانه یا یك میلهٔ پلاستیکی‌را با لباس‌خود یا بایك تکه پارچهٔ پشمی خشك مالش دهید ذره‌های گردوغبار یا خرده‌های کاغذ را جذب می‌کند. همچنین اگر درهوای خیلی خشك، سطح آینه یا شیشهٔ پنجره را با یك تکه پارچهٔ خشك‌تمیز

کنید این پدیده اتفاق می‌افتد وذره‌های گرد و غبار معلق درهوا وکرکهای جدا شده از پارچه به سطح آینه یا شیشه می‌چسبند به‌طوری‌که پاك‌کردن‌سطح آنها ازاین ذره‌ها دشوار است .

پاره‌ای ازمواد مانند پرسپکس[1]،استات‌سلولز ومشتقات وینیل[2] که‌درساختن صفحه‌های گرامافون به‌کار می‌روند نیز درموقع مالش بـا پارچهٔ پشمی همین خاصیت را با شدت بیشتری نشان می‌دهند . عـاملی کـه سبب جذب این ذرات می‌شود جاذبهٔ الکتریکی نام دارد و اجسامی‌که در اثر مالش این خـاصیت را پیدا مـی‌کنند دارای الکتریسیتهٔ ساکن می‌شوند .

سابقهٔ دانش انسان در بارهٔ الکتریسیتهٔ ساکن بـه ۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح مـی‌رسد یعنی زمانی‌که تالس فیلسوف یونانی پی‌بردکهربا در اثر مالش خرده‌های سبك اجسام را جذب می‌کند . کلمهٔ الکتریسیته هم به‌طوری‌که می‌دانید، ازکلمهٔ‌یونانی الکترون[3] به‌معنی کهربا گرفته شده است .

در اثر مالش بعضی از پارچه‌ها بـه هم نیز ممکن است الکتریسیتهٔ ساکن تولید شود . هرکس که پیراهنی ازجنس نایلون[4] یا تریلن[5] پوشیده‌باشد می‌داندکه اغلب به‌ویژه هنگام ازتن درآوردن آن درپایان روزی‌که‌هوا خشك‌بوده به‌شدت الکتریسیته دار شده است .

تولید الکتریسیتهٔ ساکن به‌وسیلهٔ مالش‌گاهی با صدا همراه است . مثلا هنگام شانه کردن موی کاملا خشك و تمیز، یا هنگام مالش دادن میله‌ای از جنس‌ابونیت[6] با پوست گربه یا پوست خز، یـا به‌هنگام درآوردن پیراهن نایلونی یا بلوز پشمی‌از تن،این صدا شنیده می‌شود . علت تولید صدا،زدن جرقه‌های الکتریکی ضعیفی است‌که خود آنها رادر جای تاریك نیزمی‌توان دید.

پرسش ۱-۱- آیا زدن برق بین ابرها نیز بـه‌علت وجود الکتریسیتهٔ ساکن درآنهاست ؟

جرقه‌های حاصل از الکتریسیتهٔ ساکن گاهـی ممکن است خطرناك باشد وآن وقتی است‌که گازها یابخارهای‌قابل اشتعال در هوا پراکنده شده باشند. مثلا دربیمارستانها گاهی دراتاق عمل برای بیهوش کردن مریض از اتراستفاده می‌شود و بخار اتر در فضای اتاق پخش می‌گردد . اگر چـرخهای تخت حامل بیمار مجهز به لاستیك باشد در اثر مالش‌این چرخها با پتو یا روکش مریض ممکن است درآنها الکتریسیتهٔ ساکن تولید شود وجرقه بزند و همین جرقه باعث انفجار و خطر جانی بشود . امـروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی به‌بدنهٔ‌فلزی تخت حامل مریض زنجیر فلزی‌کوتاهی‌که با سطح زمین تماس دارد آویزان می‌کنند. درنتیجه بارهای الکتریکی تـولید شده از راه این زنجیر بـه زمین می‌رود و ازتولید جرقه وپیش‌آمد حادثه جلوگیری می‌شود .

پرسش ۱-۲- چرا به عقب بـدنهٔ فلـزی نفتکشها زنجیرکوتاهی که با سطح زمین تماس‌دارد آویزان‌است ؟

گاهی در هوای خشك مردمی‌که از اتومبیل

۱- Perspex ۲- Vynil ۳- Elektron

۴- Nylon ۵- Terylene ۶- Ebonite

یا اتوبوس‌پیاده‌می‌شوند همین‌که پای خود را روی زمین می گذارنـد تکان (شوك) الکتریکی ضعیفی احساس می‌کنند . این تکان بدین سبب است‌که در اثر مالش مولکولهای گاز به جدار لوله در موقع خروج دودو همچنین دراثر مالش لباس مسافران به‌روکش صندلیها، الکتریسیتهٔ ساکن دروسیلهٔ نقلیه تولیدمی‌شود.

پرسش ۱-۳- اگر میله ابـونیتی را با پـارچه پشمی یا با پوست حیوان مالش داده وبالای تعدادی گلوله‌های کوچك وسبك از مغز آقطی که آنها را روی میزی (به ویژه فلزی) قرار داده‌اید بگیرید گلوله‌ها به سرعت برای مدت کـوتاهی بین میله و سطح میز بالا و پائین می‌روند . یعنی میله چند بارمرتبأ گلوله‌ها را جذب و دفع می کند. چگونه این پدیده راتوجیه می کنید ؟

الکتریسیتهٔ مثبت و منفی

پدیدهٔ دفع الکتریکی نخستین‌بار درسال ۱۶۷۲ میلادی توسط اتوفن گریکه‌که با نام اوآشنا هستید بیان شد . او مشاهده‌کردکـه پرهای مرغ نخست جذب يك گلولهٔ گوگردی‌باردارشده‌سپس ازآن رانده می‌شوند . صدوپنجاه سال بعد ، در فرانسه محققی به‌نام شارل‌دوفی[1] کشف کردکه دوجسم باردارهمیشه یکدیگررا نمی‌رانند بلکه گاهی‌هم‌یکدیگررامی‌ربایند وبه‌این نتیجه رسیدکه دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. به‌طوری‌که بارهای الکتریکی همنوع‌یکدیگر را می‌رانند وبارهای الکتریکی‌که نوع آنهامختلف است یکدیگررا می‌ربایند. دوفی برای تشخیص‌این دونوع الکتریسیته یکی را الکتریسیتهٔ شیشه‌ای و دیگری‌را الکتریسیتهٔ‌صمغی(رزینی)نامید. الکتریسیتهٔ شیشه‌ای از مالیدن شیشه به‌پارچهٔ ابریشمی تولید می‌شود و الکتریسیتهٔ صمغی از مـالیدن‌کهربـا ، گوگرد، لاك، ابونیت وبسیاری از مواد دیگر به پشم یا پوست حیوان به‌دست می‌آید .

بعدها معلوم شدکه این طـرز نامگذاری در پاره‌ای از مواردگمراه‌کننده است زیـرا مثلا شیشهٔ سنگی زبر ودان‌دان در اثرمالش الکتریسیتهٔ‌صمغی تولید می کند و ابـونیت بسیار صیقلی شده دارای نـوع الکتریسیتهٔ شیشه‌ای می‌شود ؛ از این‌رو ، فـرانکلین[2] دانشمند امـریکایی اصطلاح امروزی «الکتریسیتهٔ مثبت و منفی» را بـه جای دو نوع شیشه‌ای وصمغی وضع‌کرد .

بنا به‌روش سنتی وقدیمی ، در آزمـایشهای الکتریسیتهٔ ساکن بـرای تـولید الکتریسیتهٔ مثبت شیشه را با ابریشم وبرای تولید الکتریسیتهٔ منفی ابونیت را با پوست حیوان (مانند پوست گربه یا خز) مالش می‌دهند .

ولی امروزه ، استات سلولـز بـرای تولید الکتریسیتهٔ مثبت وپلی‌تن[3] برای تولید الکتریسیتهٔ منفی مناسب‌ترتشخیص داده شده‌است زیرا رطوبت هوا برروی آنهاکمتر اثرمی گذارد .

پرسش ۱-۴- چرا اگـر میلهٔ فلـزی را در دست بگیریم و مالش دهیم بار الکتریکی در آن

۱- Charles dufay ۲- Benjamin Franklin ۳- Polythene

ظاهر نمی‌شود ؟

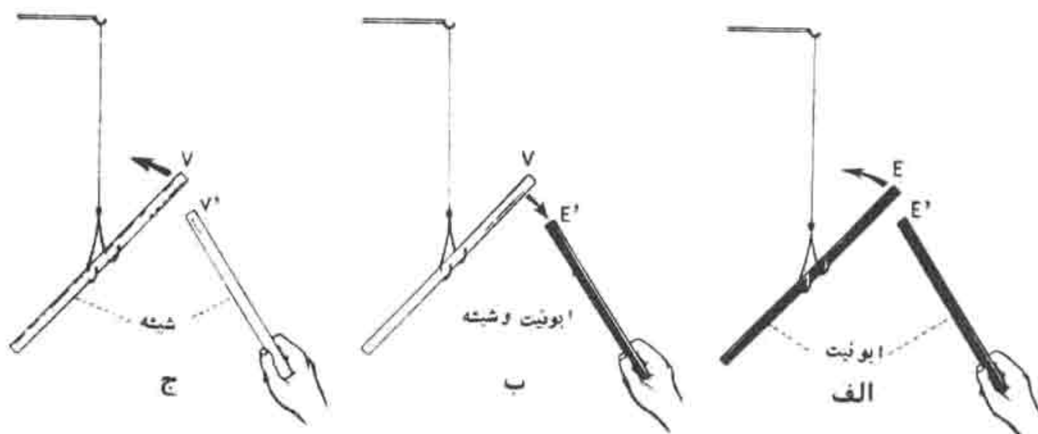
تأثیر بارهای الکتریکی بریکدیگر

یك میلهٔ شیشه‌ای گرم و خشك را با پارچهٔ ابریشمی مالش داده وآن‌را روی قطعه سیم رکابی شکلی که‌با نخ به‌پایه‌ای‌آویزان است قرارمی‌دهیم. هر گاه میلهٔ شیشه‌ای دیگری راکه با همین روش بار الکتریکی یافته است به‌میلهٔ آویخته نزدیك‌کنیم رانده می‌شود .

آزمایش را با دومیله ازجنس ابونیت‌که‌آنها را به‌پوست حیوان یا پارچهٔ پشمی مالیده‌ایم‌تکرار می‌کنیم. میلهٔ آویخته بازهم رانده می‌شود . بار دیگر آزمایش را با یك میلهٔ شیشه‌ای و یك میلهٔ ابونیتی الکتریسیته‌دار انجام می‌دهیم، این‌بار میلهٔ آویخته شده جذب‌میلهٔ دیگر می‌شود (شکل ۱-۱). ازاین آزمایش قانون اساسی الکتریسیتهٔ ساکن‌نتیجه می‌شود،یعنی : اجسامی‌که دارای بارهای‌الکتریکی همنوع هستند یکدیگر را می‌رانند واجسامی‌که‌دارای بارهای الکتریکی از نوع مخالف هستند یکدیگررا می‌ربایند .

در اثرمالش دو نوع‌بار الکتریکی‌مخالف ولی مساوی تولید می‌شود

آزمایش نشان می‌دهد وقتی‌که دوجسم مختلف به‌هم مالیده می‌شوند هردوجسم بار الکتریکی‌پیدا می‌کنند . یکی از دو جسم دارای بار الکتریکی مثبت ودیگری دارای بار الکتریکی منفی می‌گردد و اندازهٔ دوبار الکتریکی مثبت ومنفی باهم برابر است . مثلا وقتی که یك میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی مالیده می‌شود ، در میله بار مثبت و در پارچه بار منفی و مساوی بار مثبت شیشه به‌وجود می‌آید .



شکل ۱-۱- بارهای الکتریکی همنوع یکدیگررا می‌رانند وبارهای الکتریکی با نوع مخالف یکدیگر را می‌ربایند .

این پدیده را می‌توان با نزدیك کردن پارچهٔ ابریشمی به‌یك میلهٔ ابونیتی آویخته شده‌که‌دارای بار منفی است نشان داد و مشاهده‌کرد‌که میلهٔ ابونیتی ازپارچهٔ ابریشمی باردار دور می‌شود. هرگاه پارچهٔ ابریشمی باردار ومیلهٔ شیشه‌ای‌باردار راکاملا باهم تماس دهیم مجموعهٔ آنها بدون بار الکتریکی‌می‌شود ونشان می‌دهددونوع‌بارالکتریکی مخالف ولی مساوی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

پرسش ۱-۵- اگر یك میله‌ازجنس ابونیت را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم در این پارچه چه نوع الکتریسیته تولید می‌شود؟

اجسام رسانا ونارسانا

در بعضی از اجسام بار الکتریکی به‌آسانی جابه‌جا می‌شود. این اجسام را چنان‌که می‌دانید رسانا یا هادی می‌گویند ولی دربعضی از اجسام بارهای‌الکتریکی‌نمی‌توانند جابه‌جا شوند یابه‌سختی جابه‌جا می‌شوند. این‌گونه اجسام را نارسانا یا عایق می‌نامند. در میان اجسام جامد، همهٔ فلزات وکربن رساناهای خوبی هستند به همین جهت از آنها در زندگی ودرصنعت،برای انتقال الکتریسیته استفاده می‌شود. بعضی از مایعات نیز رساناهای خوبی هستند ولی همهٔ گازها از جمله هوا هنگامی که‌کاملا خشك باشند نارسانا هستند. کهربا، شیشه، چینی، لاستیك، میکا،ابریشم، ابونیت، چوب‌پنبه، مواد پلاستیکی وگوگرد از نارساناهای خوب به‌شمار می‌روند.

نخستین‌کسی‌که به‌طور جدی الکتریسیتهٔ‌ساکن را مورد مطالعه قرار داد ویلیام‌گیلبرت است. او درکتاب خود به‌نام ماگنت فهرست‌مفصلی ازاجسام رسانا ونارسانا داده است ولی مواد نارسا راکه در اثرمالش الکتریسیته‌دار می‌شوند اجسام الکتریکی و مواد رسانا راکه دراثر مالش الکتریسیته درآنها ظاهر نمی‌شود اجسام غیر الکتریکی نام نهاده‌است.

پرسش ۱-۶- چگونه‌می‌توان‌نشان‌داد که یك میلهٔ فلزی هم دراثرمالش الکتریسیته‌دار می‌شود؟

دویست سال‌پس از انتشارکتاب‌گیلبرت‌جریان الکتریسیته‌کشف شد و آن وقت دانشمندان متوجه شدندکه الکتریسیته از اجسامی‌که‌گیلبرت آنها را اجسام الکتریکی نامیده بود نمی‌گذرد و برعکس اجسام غیرالکتریکی به‌آسانی الکتریسیته‌را ازخود عبور می‌دهند.

گیلبرت اهمیت خشك بودن اسبابها را در آزمایشهای الکتریسیتهٔ ساکن یادآور می‌شود: آب ناخالص یك مادهٔ رساناست. لایهٔ نازکی از رطوبت که در اثرتراکم بخارآب موجود در هوا یارطوبت دست براجسام نارسانا می‌نشیند الکتریسیتهٔ حاصل را به‌زمین انتقال می‌دهد بنابراین برای این‌که آزمایشهای الکتریسیتهٔ ساکن موفقیت‌آمیز باشند باید اسبابهای آزمایش‌کاملا خشك باشند به ویژه میله‌های شیشه‌ای را باید پیش از آزمایش‌گرم و خشك‌کرد.

برقنما یا الکتروسکوپ

می‌دانید برقنما یا الکتروسکوپ اسبابی‌است که برای پی‌بردن به‌وجود بارهای الکتریکی که‌و تعیین نوع بار الکتریکی به‌کار می‌رود.

شکل ۱-۲- نوع متداول الکتروسکوپ را

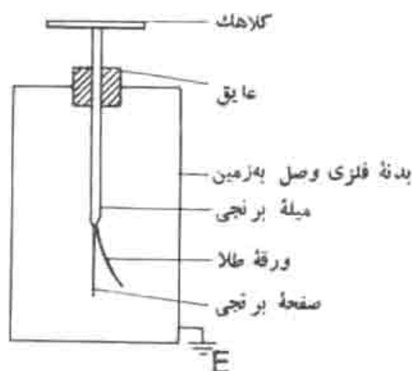
نشان می‌دهد . این اسباب از یك میلهٔ فلزی(مثلا برنجی) تشکیل‌یافته است که‌به‌سر بالایی آن کلاهکی به‌شکل قرص یا گلوله نصب شده وبه‌سرپایینی آن یك صفحهٔ فلزی مستطیل شکل کوچك با یك ورقهٔ خیلی نازك از طلا یاآلومینیم وصل گردیده است . (دربعضی از الکتروسکوپها به‌جای صفحهٔ مستطیل شکل کوچك فلزی، یك ورقهٔ طلای‌دیگروصل شده است یعنی در پایین میلهٔ فلزی دو ورقهٔ نازك طلا نصب شده است).

ورقهٔ طلا یا آلومینیم بـه‌این جهت بـه کار می‌رودکه می‌توان ازآنها ورقـه‌های خیلی نـازك تهیه‌کرد. ورقهٔ نازك طلا در یك محفظهٔ فلزی که پنجرهٔ شیشه‌ای دارد قرارداده می‌شود تا از جریان هوا و بارهای الکتریکـی احتمالی موجـود درآن محافظت شود . هنگام‌کار با الکتروسکـوپ بـدنهٔ فلزی محفظه به‌زمین متصل می‌شود . میلهٔ برنجی را از سوراخ یك قطعه مادهٔ عایقی مانند پلی‌تن‌که به‌شکل چوب‌پنبه است گذرانده وآن‌را مطابق‌شکل در محفظه نگاه‌داشته‌اند .

پرسش ۱ - ۷- به نظر شما اتصال بدنهٔ الکتروسکوپ به‌زمین به‌چه‌منظور است ؟

برای پی‌بردن به وجود الکتریسیته در یك جسم ،آن‌را به‌کلاهك الکتروسکوپ نزدیك‌می‌کنند یاتماس‌می‌دهند.الکتریسیته ازراه‌میلهٔ الکتروسکوپ به‌ورقهٔ طلا وصفحهٔ فلزی مقابل‌آن منتقل‌می‌شودو چون صفحه وورقه هردو یك نوع بـار الکتریکی پیدا می‌کنند ورقه از صفحه دور می‌شود و بـاآن زاویه‌ای می‌سازدکه هرچه‌اندازهٔ بارالکتریکی‌بیشتر باشد این زاویه بزرگتر است .

پرسش ۱ -۸- آیااین زاویه‌ممکن است معرف مقدار الکتریسیتهٔ داده شده به الکتروسکوپ‌باشد؟



شکل ۱-۳- طرح سادهٔ الکتروسکوپ .

پرسش ۱-۹- به‌نظرشماچگونه‌می‌توان نوع الکتریسیتهٔ مثبت یا منفی مـوجود دریك جسم را به‌وسیلهٔ الکتروسکوپ مشخص‌کرد ؟

تولید الـکتریسیتهٔ ساکن در اثر مجاورت (القای الکتریسیته)

گفتیم‌که با نزدیك‌کردن یك جسم باردار به کلاهك الکتروسکوپ‌ورقهٔ طلا ازصفحهٔ مقابل‌خود دور می‌شود. این پدیده نشان‌می‌دهدکه الکتریسیته در اثر مجاورت یك جسم بـاردار به‌الکتروسکوپ درآن القا می‌شود. آزمایش زیرشمارا به‌طرزتولید الکتریسیتهٔ القایی دراجسام رسانا آشناتر می‌سازد:

الف- دوکرهٔفلزی(برنجی‌یامسی‌یاآلومینیمی) AوB را کـه روی پایه‌های نارسانا نصب شده‌اند طوری‌کنار هم قرارمی‌دهیم‌کـه باهم‌تماس داشته و مجموعهٔ آنها در حکم یك‌جسم رسانا باشد (شکل ۱-۳- الف) .

ب- میله‌ای از جنس ابونیت یا پلی‌تن راکه دارای بار الکتریکی منفی است بـه کره‌ها نزدیك

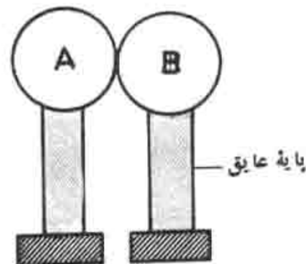
می‌کنیم . در کرهٔ A الکتریسیتهٔ مثبت و در کرهٔ B الکتریسیتهٔ منفی القا می‌شود (شکل ۱-۳-ب).

ج- درحالی‌که میلهٔ القاکننده مجاور A و B است کرهٔ B را از A دور می‌کنیم (شکل ۱-۳-ج).

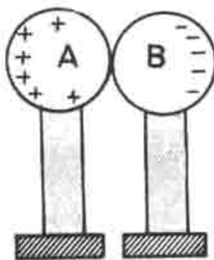
د- میله را ازکنار کره‌ها دور می‌کنیم. کرهٔ A که به‌میله نزدیکتر بوده است دارای بار مثبت و کرهٔ B دارای بار منفی می‌شود. نوع بارهای دو کرهٔ A و B را می‌توان با الکتروسکوپی که ازپیش باردار شده است مشخص کرد . مثلاً اگر کرهٔ A را که دارای بار مثبت است به‌الکتروسکوپی که آن هم بار مثبت‌دارد نزدیک‌کنیم انحراف ورقهٔ آن بیشتر می‌شود و اگر کرهٔ B راکه بارمنفی دارد به‌الکتروسکپی که با الکتریسیتهٔ منفی باردار شده است نزدیک کنیم انحراف بیشتری رانشان می‌دهد .

پرسش ۱-۱۰- اگر دراین آزمایش به جای میلهٔ ابونیتی از میلهٔ شیشه‌ای که دارای بار مثبت است استفاده‌کنیم بارهای الکتریکی که در دوکره القا می‌شوند چگونه‌اند ؟

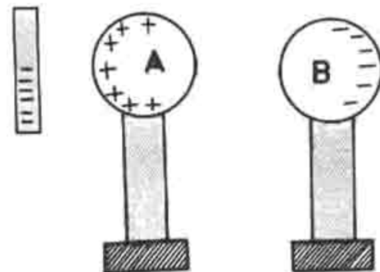
پرسش ۱-۱۱- اگریک میلهٔ فلزی را به‌طور افقی روی‌پایهٔ نارسانایی قرار داده و به‌یک سرآن میله‌ای راکه دارای بار الکتریکی منفی است نزدیک کنیم بارهای الکتریکی القا شده در آن چگونه پخش می‌شوند ؟



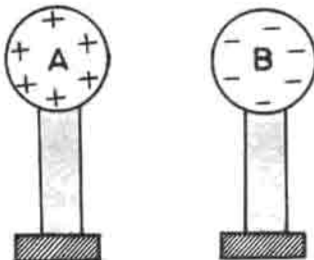
الف - دوکرهٔ رسانای بدون بارالکتریکی که برپایهٔ عایق قرار داشته وباهم در تماسند .



ب - با نزدیک کردن میلهٔ ابونیتی باردار دو بارالکتریکی مثبت و منفی به‌ترتیب در دوکرهٔ A و B القا می‌شود



ج - درحالی‌که میلهٔ باردار در مجاورت کره استآنها را از هم دور می‌کنیم.



د - میلهٔ القاکنندهٔ الکتریسیته را دور می‌کنیم.در دوکره بارهای الکتریکی مخالف ومساوی باقی می‌ماند .

شکل ۱-۳- ایجاد الکتریسیته در اثر مجاورت

فرضیهٔ الکترونی در بارهٔ تولید الکتریسیتهٔ ساکن

چگونه می‌توانیم علت الکتریسیته‌دار شدن یك جسم را به وسیلهٔ مالش یا در اثر القا توجیه کنیم ؟

گفتیم وقتی که دوجسم را بهم مالش می‌دهیم دریکی الکتریسیتهٔ مثبت و در دیگری الکتریسیتهٔ منفی پیدا می‌شود . این واقعیت مارا به این مطلب رهنمون می کند که ماده خود دارای تعداد زیادی بار الکتریکی مثبت ومنفی است. وقتی جسم بدون بار الکتریکی است، بارهای مثبت ومنفی باهم برابر بوده واثر یکدیگر را خنثی می کنند ولی هنگامی که تعادل بین بارهای مثبت ومنفی درجسم بهم می خورد یکی از این دونوع بار در جسم بردیگری فزونی می‌یابد ودرآن بار الکتریکی ظاهر می‌شود . وقتی که دوجسم بهم مالیده می‌شوند، در مدت مالش بارهای الکتریکی ازیکی به‌دیگری می‌رود، درنتیجه تعادل بین بارها در دوجسم بهم می‌خورد وهردو جسم الکتریسیته‌دار می‌شوند . اینك این پرسش پیش می‌آید که بارهای الکتریکی به‌چه صورت ازیك جسم به‌جسم دیگر منتقل می‌شوند. پاسخ این پرسش را دانشمندان پس از مشاهده‌ها و آزمایشهای بسیار با وضع تئوری ساختمان اتم داده‌اند . می‌دانید که هراتم دارای هستهٔ مرکزی است که خود از ذراتی به‌نام پروتون ونوترون تشکیل یافته است وذرات کوچکتری به نام الکترون با انرژیهای متفاوت (به‌عبارت دیگر در ترازهای مختلف انرژی) به‌دور هستهٔ مرکزی می‌چرخند ، این الکترونها دارای بار منفی هستند . الگوی ساختمان اتم وترازهای مختلف انرژی آن‌را به تدریج خواهید آموخت ، در اینجا فقط یادآور می‌شویم که اتمهای همهٔ عناصر براساس همین الگو ساخته شده‌اند وفرق آنها با یکدیگر در تعداد پروتونها ونوترونهای درون هسته است .

همهٔ الکترونهای اجسام مختلف یکسانند و هریك ازآنها حامل مقداری الکتریسیتهٔ منفی است که به‌عنوان کوچکترین بار الکتریکی مستقل موجود درماده شناخته شده است. ازنظر الکتریکی پروتونها نیزدارای اهمیت هستند زیرا هریك ازآنها دارای بار الکتریکی مثبتی است که اندازهٔ آن برابر بار الکتریکی منفی یك الکترون است . چون درحالت عادی تعداد الکترونها در هر اتم برابر تعداد پروتونها است. پس هر اتم از لحاظ الکتریکی یك مجموعهٔ خنثی است . بنابراین الکتریسیته یك چیز جدا از ماده نیست بلکه در حقیقت جزئی ازمصالح ساختمان اتمهای ماده به شمار می‌رود . خواهیم دید، این امکان وجود دارد که الکترونها از اتمهای خود جدا شوند و اگر اتفاق افتد که تعدادی از اتمهای یك جسم الکترون ازدست بدهند، دراتمهای جسم ودرنتیجه درخود جسم ، بار الکتریکی مثبت باقی می‌ماند. از طرف دیگر، اگر جسمی تعدادی الکترون اضافی دریافت کند دارای بارالکتریکی منفی می‌شود. باید درنظر داشته باشیم که انتقال پروتون از یك جسم به‌جسم دیگر در شرایط عادی ممکن نیست زیرا پروتونها درون هستهٔ اتمها جای دارند و نمی‌توانند جابه‌جا شوند و تمام پدیده‌های مربوط به‌الکتریسیتهٔ ساکن به‌وسیلهٔ جابه‌جا شدن الکترونها توجیه می‌شوند. اینك به‌توجیه‌پاره‌ای از این پدیده‌ها که باآنها آشنا شده‌اید می‌پردازیم :

۱ ـ چگونگی تولید الکتریسیته به وسیلهٔ مالش ـ وقتی‌که یك میلهٔ شیشه‌ای به‌پارچهٔ ابریشمی مالیده می‌شود تعدادی از الکترونهای شیشه به ابریشم می‌پیوندد، ودرنتیجه، شیشه بار الکتریکی مثبت و ابریشم بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند. به همین ترتیب وقتی‌که میلهٔ ابونیتی با پوست حیوان‌مالش داده می‌شود الکترونها از پوست به میلهٔ ابونیت می‌پیوندند ومیله بارمنفی وپوست بار مثبت‌می‌یابد. علت این‌که چرا الکترونها از شیشه به‌ابریشم واز پوست به ابونیت می‌روند وعکس این پدیده اتفاق نمی‌افتد هنوز به‌خوبی روشن نیست .

۲ـ الکترونها دراجسام نارسانا و رسانا ـ فرق بین یك جسم نارسانا و یك جسم رسانا این است که در جسم نارسانا الکترونها به شدت به اتمهای خود پیوسته‌اند وبه‌آسانی جابه‌جا نمی‌شوند درصورتی‌که درجسم رسانا الکترونها می‌توانند به آزادی از اتمی به‌اتم دیگر بروند . وقتی که یك میلهٔ ابونیتی را با دست گرفته و آن را با پوست حیوان مالش می‌دهیم الکترونها درسطح آن جمع می‌شوند وچون ابونیت نارساناست این الکترونها نمی‌توانند در میله حرکت‌کنند واز راه دست‌به‌زمین بروند،در نتیجه بارالکتریکی در روی میله باقی می‌ماند . اگریك میلهٔ برنجی را با دست گرفته و آن‌را با پوست حیوان مالش دهیم میلهٔ برنجی هم درست مانند میلهٔ ابونیتی با جذب الکترونهای اضافی بارالکتریکی‌منفی‌پیدا می کند ولی‌بارالکتریکی درآن آشکار نمی‌شود زیرا الکترونهای اضافی ازراه میله ودست وبدن‌که رسانا هستند به‌زمین می‌روند. اگر میلهٔ برنجی با دستهٔ نارسانایی گرفته شود الکترونهای‌اضافی میله دیگر نمی‌توانند از این‌دستهٔ نارسانا بگذرند ودرمیله باقی می‌مانند . وجود بار اضافی منفی را در میلهٔ برنجی می‌توان با یك الکتروسکوپ‌که از پیش باالکتریسیتهٔ منفی باردار شده است‌نشان داد:هرگاه میله‌رابه‌این‌الکتروسکوپ نزدیك‌کنیم انحراف ورقهٔ طلا بیشتر می‌شود .

۳ـ الکترونها و القای الکتریسیته ـ به کمك فرضیهٔ الکترونی می‌توان به‌آسانی چگونگی تولید دونوع الکتریسیتهٔ القایی را در دوکرهٔ A و B (شکل ۱ـ۳) توجیه کرد : با نزدیك شدن میلهٔ ابونیتی (که دارای بار منفی است) به‌کرهٔ A ، الکترونهای آزادآن به‌طرف‌کرهٔ B رانده می‌شوند ، وقتی‌که دو کره ازهم جدا می‌شوند الکترونهای رانده شده ، درکرهٔ B باقی می‌مانند. به‌عبارت‌دیگر دراین عمل، تعدادی از الکترونهای کرهٔ A به‌کرهٔ B منتقل می‌شود و درنتیجه‌کرهٔ A بار مثبت وکرهٔ B بارمنفی پیدا می‌کند .

الکتروفور

درسال ۱۷۷۵ میلادی ولتا[۱] که در ایتالیامعلم فیزیك بود نامه‌ای به پریستلی[۲] (کاشف اکسیژن) نوشت و درآن نامه شرح داد که اسبابی به‌نام الکتروفور اختراع‌کرده است .

الکتروفور را می‌توان یك نوع ماشین مولد

۱- Volta   ۲- Joseph Priestley

الکتریسیتهٔ ساکن نامیدکه براساس خاصیت القای الکتریسیته کار می کند ومی توان با این اسباب از یك بار الکتریکی منفی بار الکتریکی مثبت به‌دست آورد .

این اسباب از یك صفحهٔ نارسانا از جنس ابونیت یا پلی‌تن ویك قرص فلزی (مثلا برنجی) که دستهٔ نارسانایی دارد تشکیل یافته است . شکل ۱-۴ طرزکار با الکتروفوررا درسه مرحله نشان می‌دهد.

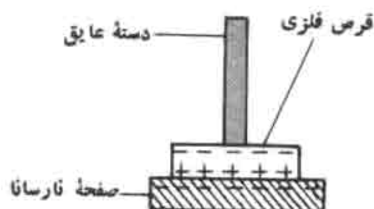
الف ـ صفحهٔ نارسانا نخست در اثرمالش با پوست حیوان بار الکتریکی منفی پیدا می کند و سپس قرص فلزی با دستهٔ عایق خود روی آن قرار داده می‌شود. این عمل سبب می‌شود که دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی به ترتیب درروی‌سطح پایینی وبالایی قرص القا شود (شکل ۱-۴-الف) ، زیرا سطح پایینی قرص فلزی کاملا مسطح نیست‌و فقط در سه‌یاچهار نقطه با سطح صفحهٔ نارسانای زیرین تماس دارد .

ب‌ـ سطح بالایی قرص فلزی به طور موقت با تماس انگشت دست به زمین اتصال داده می‌شود . دراثر این اتصال ، الکترونهایی که به‌سطح بالایی قرص‌رانده شده‌اند ازراه دست وبدن‌به‌زمین می‌روند وفقط بارمثبت‌درقرص‌باقی‌می‌ماند. (شکل ۱-۴-ب). (دربعضی از الکتروفورهای خودکار ، اتصال زمین توسط میخ‌برنجی که از میان صفحهٔ نارسانا می گذرد صورت می گیرد).

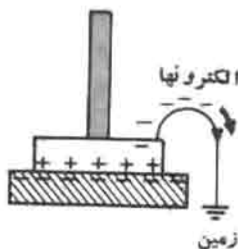
ج‌ـ با دور کردن قرص فلزی از صفحهٔ نارسانا دراین قرص فقط بار الکتریکی مثبت وجود دارد (شکل ۱-۴-ج) . الکتریسیته‌ای که بدین ترتیب‌در قرص‌ایجاد می‌شود به‌اندازه‌ای است‌که اگر به‌لولهٔ اجاق گاز نزدیك شود ممکن است با جرقهٔ حاصل ازآن گاز مشتعل شود .

پخش بار الکتریکی بر روی اجسام رسانا

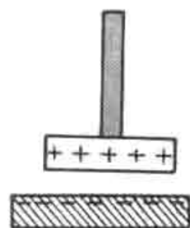
الف ـ آزمایش فارادی ـ پخش بار الکتریکی بر روی یك جسم رسانا را می‌توان باآزمایشی که نخستین بار توسط فارادی[1] دانشمند انگلیسی در سال ۱۸۱۰ میلادی انجام شده است نشان داد . این آزمایش با یك ظرف استوانه‌ای شکل فلزی مانند یك قوطی یا یك سطل کوچك فلزی که روی



الف‌ـ دراثر القا دونوع بار الکتریکی درقرص پیدا می‌شود.



ب ـ قرص فلزی به‌طور موقت به‌زمین متصل می‌شود .



ج ـ قرص از روی صفحه برداشته می‌شود .

شکل ۱-۴- طرزکار با الکتروفور .

---

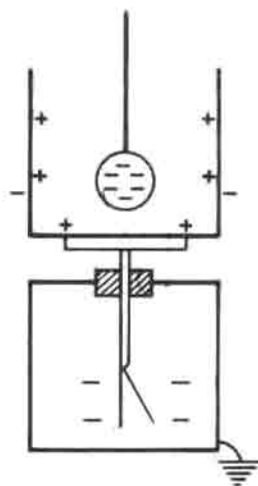
۱) Michael Faraday (۱۷۹۱-۱۸۶۷ م)

کلاهك الکتروسکوپ قرار داده می‌شود (یا به الکتروسکوپ متصل می گردد) ویك کره فلزی کوچك که به دسته عایقی متصل است (یا به نخ ابریشمی خشك آویزان است) به آسانی عملی می‌شود (شکل ۱-۵) .

اگر کره فلزی توسط منبع الکتریکی دیگری باردارشده درون ظرف برده شود ورقه الکتروسکوپ منحرف می گردد . با حرکت دادن کره باردار در داخل ظرف حتی تماس‌دادن آن با بدنه داخلی ظرف، انحراف ورقه الکتروسکوپ تغییر نمی کند ولی پس از تماس کره فلزی باردار با سطح داخلی ظرف ، هم کره و هم این سطح بدون بار خواهد شد . علت ثابت ماندن انحراف ورقه الکتروسکوپ پس از تماس کره باردار با بدنه داخلی ظرف این است که :

۱) چگونگی پخش بار الکتریکی روی سطح بیرونی ظرف قبل و بعد از تماس تغییر نمی کند .

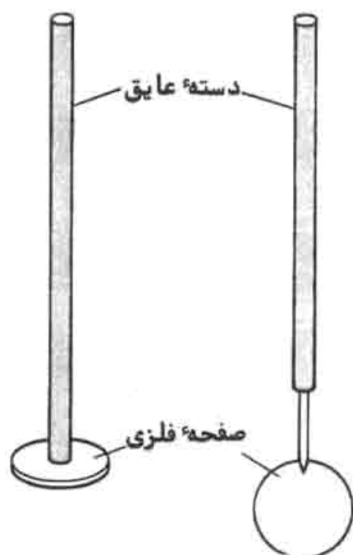
۲) اندازه الکتریسیته القا شده روی سطح درونی ظرف با اندازه بار الکتریکی روی کره برابر ولی از نوع مخالف آن است .



شکل ۱-۵ - آزمایش فارادی

وقتی به یك جسم نارسانا از جنس لاستیك یا شیشه یا کهربا بار الکتریکی داده می‌شود این جسم بار الکتریکی را در همان جایی‌که از ابتدا متمرکز بوده است نگهمیدارد ، به عبارت دیگر بار الکتریکی روی جسم نارسانا پخش نمی‌شود . ولی اگر به جسم رسانایی مثلا از جنس مس یا نقره یا آلومینیوم بار الکتریکی داده شود بار به سرعت در روی تمام سطح آن پخش می گردد .

ب - چگونگی پخش بار الکتریکی بر روی سطح اجسام رسانا را می‌توان به وسیلهٔ صفحهٔ آزمون و الکتروسکوپ معمولی بررسی کرد . صفحهٔ آزمون صفحهٔ رسانای کوچکی است که به‌انتهای دستهٔ عایقی نصب است (شکل ۱-۶) برای انتقال بار الکتریکی از روی یك جسم باردار به الکتروسکوپ به کار می‌رود . صفحهٔ آزمون را باید طوری انتخاب کرد که تمام سطح آن برهر قسمت از سطح جسمی که مورد بررسی است کاملا منطبق شود. برای بررسی



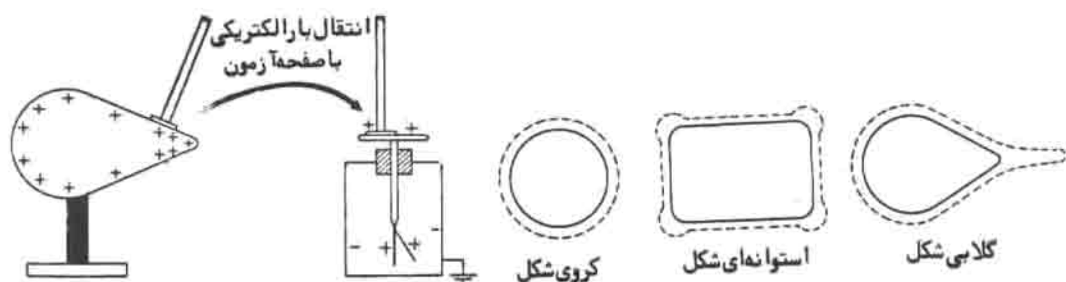
شکل ۱-۶- صفحهٔ آزمون

پخش بارالکتریکی برروی سطح یك جسم رسانا ، صفحهٔ آزمون را (که دستهٔ عایق آن دردست است) روی هرقسمت از سطح جسم باردار می گذارندسپس آن‌را باکلاهك الکتروسکوپ تماس می‌دهند .

میزان انحراف ورقهٔ متحرك الکتروسکوپ ، تقریباً معرف چگالی سطحی بارالکتریکی است که در هرقسمت از سطح جسم رسانا متمرکز شده‌است. نتایج‌حاصل از این بررسی نشان می‌دهدکه‌الکتریسیته فقط در سطح خارجی اجسام رسانا (چه توخالی و چه توپر) جمع می‌شود وچگالی‌سطحی آن درجاهایی که برجستگی وجود دارد بیشتر است .

چگالی سطحی، بنابه‌تعریف ، عبارت است از مقدار بارالکتریکی که روی واحد سطح جسم رسانا جمع مـی‌شود . در شکل **۱-۷** چگونگی پخش بـار الکتریکـی در روی چند جسم با شکلهای مختلف نشان داده شده است. در این شکل فاصلهٔ خطوط نقطه‌چین از سطح اجسام نشان دهندهٔ چگالی‌سطحی الکتریکی است وبه‌طوری‌که دیده می‌شود چگالـی سطحی الکتریکی درجاهای برجسته بیشتر است .

پرسش ۱-۱۲- به‌نظر شما علت جمع شدن بـار الکتریکی فقط در روی سطح اجسام رسانا چیست ؟



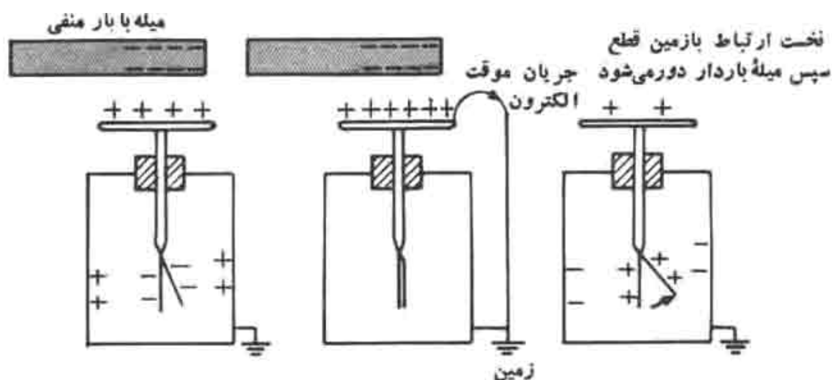
شکل ۱-۷ بررسی پخش بارالکتریکی روی سطح اجسام رسانا

نکاتی‌راکه باید هنگام‌کار با الکتروسکوپ درنظرداشت

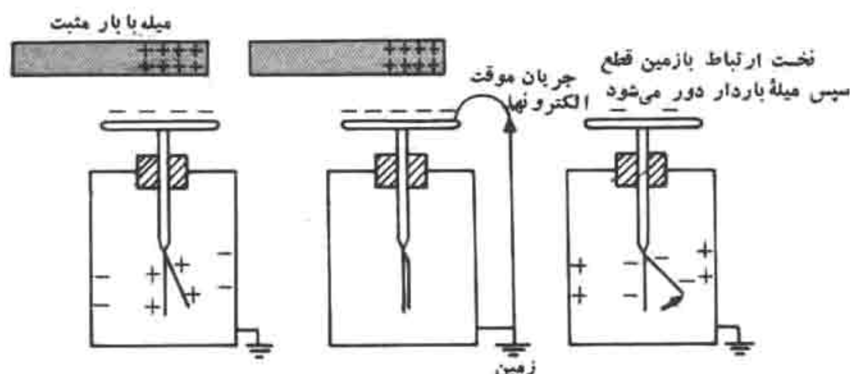
۱- بـرای بـاردار کردن الکتروسکوپ بـا الکتریسیتهٔ مثبت یا منفی بهتر این است‌که از روش القا استفاده شود . درشکلهای ۱-۸ و ۱-۹ طـرز باردارکردن الکتروسکوپ با بارهای مثبت و منفی نشان داده‌شده است. برای‌باردارکردن‌الکتروسکوپ با الکتریسیتهٔ مورد نظر باید ازمیلهٔ‌بارداری که‌دارای بار مخالف است استفاده شود . بـرای این منظور باید میلهٔ باردار را به‌کلاهك الکتروسکوپ نزدیك کرد تا ورقهٔ طلا به‌اندازهٔ دلخواه انحـراف یابد و در همین حال الکتروسکوپ را به وسیلهٔ تماس بـا انگشت درمدت کوتاهی به زمین وصل‌کـرد سپس انگشت را برداشت ومیلهٔ باردار را ازالکتروسکوپ دورکرد .

پرسش ۱-۱۳- در شکل ۱-۹ نشان‌داده شده است که‌پس‌از ارتباط الکتروسکوپ با زمین‌الکترونها از زمین به‌سوی الکتروسکوپ جریان می‌یابند. آیا می‌توانید علت را توضیح دهید ؟

۲- گفتیم‌کـه چگونـه مـی‌توان بـه وسیلهٔ



شکل ۱-۸ باردارکردن الکتروسکوپ با بار مثبت به‌روش القا .



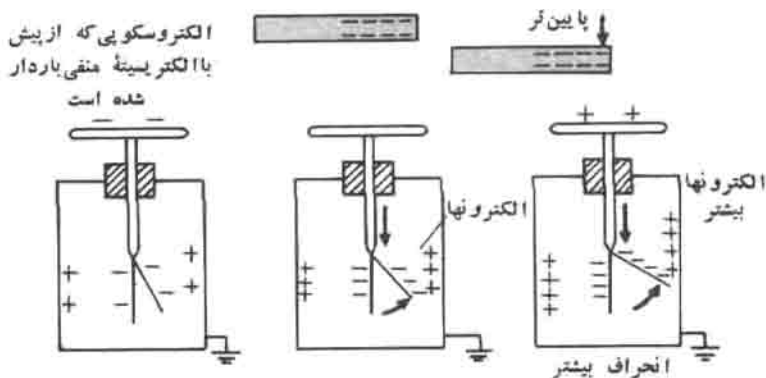
شکل ۱-۹ باردارکردن الکتروسکوپ با بار منفی به روش القا .

الکتروسکوپی که از پیش باردار شده است نوع بار الکتریکی یک‌جسم را تشخیص داد . بدیهی است‌بار الکتریکی‌هم‌نوع با بار الکتروسکوپ، سبب‌افزایش انحراف ورقهٔ طلای آن می‌شود در صورتی که بار مخالف،انحراف این ورقه راکاهش می‌دهد .

وقتی که بار الکتریکی مورد آزمایش و بار الکتروسکوپ از یك نوع باشند مسئله ساده است و اشکالی پیش نمی‌آید و به‌طوری که در شکل۱-۱۰ نمایش‌داده‌شده است‌هرچه میلهٔ‌باردار به‌الکتروسکوپ نزدیکتر شود انحراف ورقهٔ طلا بیشتر می‌شود .

ولی اگر بار مورد آزمایش مخالف بار الکتروسکوپ باشد مسئله چندان ساده نیست و باید بیشتر دقت شود .

شکل ۱-۱۱ نشان می‌دهد وقتی که بار الکتریکی منفی قوی به‌الکتروسکوپی که ازپیش بار مثبت دارد نزدیك شود چه اتفاق می‌افتد . جسم باردار که بالای کلاهك‌الکتروسکوپ (در فاصلهٔ‌نسبتاً دور) نگاه‌داشته می‌شود انحراف ورقه اندکی کاهش می‌یابد (شکل ۱-۱۱-ب) . زیرا تعدادی از الکترونهای کلاهك به‌طرف ورقهٔ طلا وصفحهٔ‌مقابل

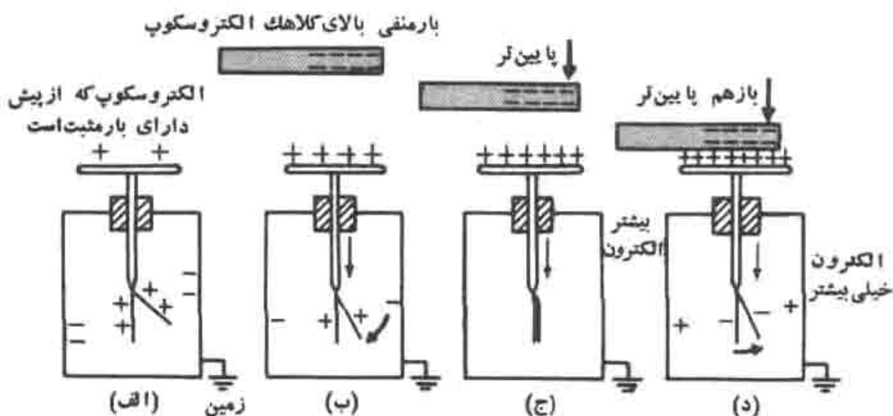


شکل ۱-۱۰- امتحان بار منفی توسط الکتروسکوپی که با الکتریسیتهٔ منفی باردار شده است.

آن رانده می‌شوند و مقداری از بار الکتریکی مثبت آن‌را خنثی می‌کنند.

اگر جسم به تدریج به کلاهک نزدیک شود الکترونهای بیشتری به طرف پایین الکتروسکوپ رانده می‌شوند تا این‌که بارمثبت ورقه وصفحه کاملا خنثی شود و ورقه به‌صفحهٔ مقابل خود بچسبد (شکل ۱-۱۱-ج). اگر از این لحظه به بعد بازهم جسم به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک‌شود، الکترونهای اضافی که به طرف صفحه و ورقهٔ مقابل آن رانده می‌شوند سبب می‌شوند که ورقه دوباره از صفحه فاصله بگیرد (شکل ۱-۱۱-د).

بنابراین هنگام آزمایش با الکتروسکوپ برای تشخیص نوع الکتریسیته، باید جسم باردار را در فاصلهٔ مناسبی بالای کلاهک آن گرفت و به‌آرامی به آن نزدیک کرد تا کاهش اولیه درمیزان انحراف ورقهٔ طلا، اگر وجود داشته باشد، ازنظر نیفتد. به‌عبارت دیگر اگر نوع بارهای الکتریکی مخالف یکدیگر باشند و آزمایش‌کننده به‌سرعت جسم باردار را به الکتروسکوپ نزدیک کند و فقط انحراف آخری ورقه را مشاهده نماید در تشخیص نوع الکتریسیته اشتباه خواهدکرد و نتیجه خواهد گرفت که الکتروسکوپ و جسم دارای بار همنوع هستند. درصورتی‌که چنین نیست.



شکل ۱-۱۱- اگر بار الکتریکی مخالف، به الکتروسکوپ خیلی نزدیک شود در شناختن آن ممکن است اشتباه رخ‌دهد.

خودتان آزمایش کنید

۱) وجود بار الکتریکی را در یک جسم آشکار سازید.

میلهٔ نارسانایی را که در اختیار دارید به وسیلهٔ مالش الکتریسیته‌دار کنید و به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک نمایید. ورقهٔ طلا از صفحهٔ مقابل خود دورمی‌شود. علت دور شدن را توضیح‌دهید. وقتی که میلهٔ باردار را ازالکتروسکوپ دور کنید ورقهٔ طلا به جای خود برمی‌گردد. این نشان می‌دهدکه الکتریسیتهٔ القایی تولید شده در الکتروسکوپ موقتی است و بادورشدن میلهٔ القاکننده ازبین می‌رود. علت از بین رفتن بار الکتروسکوپ را بر اساس فرضیهٔ الکترونی توضیح دهید. اگربخواهید بار القاشده در الکتروسکوپ باقی بماند در حالتی که‌میله نزدیک الکتروسکوپ است انگشت خود را روی کلاهک آن بگذارید و سپس بردارید و میله را دور کنید.

۲) الکتروسکوپ را به وسیلهٔ تماس با جسمی‌که بار الکتریکی دارد باردارکنید.

یک میلهٔ ابونیتی یا لاکی، یایک شانه را با پارچهٔ پشمی یا پوست حیوان (اگر دراختیار دارید) مالش دهید تا باردار شود، سپس میله‌را باکلاهک‌الکتروسکوپ تماس‌دهید. ورقهٔ طلا از صفحهٔ مقابل‌خود دورمی‌شود. میله‌را دورکنید، اگرورقه به جای خود برگشت‌آزمایش‌راآن‌قدر تکرارکنید تاورقه دیگر به جای خود برنگردد وبا صفحهٔ‌مقابل خود زاویه بسازد. در این‌حالت الکتروسکوپ باردارشده‌است. انگشت خودرا روی‌کلاهک الکتروسکوپ بگذارید. بارالکتریکی از راه دست و بدن شما به زمین می‌رود و الکتروسکوپ بی‌بار می‌شود.

باردارکردن الکتروسکوپ به وسیلهٔ تماس جسم باردار با الکتروسکوپ چندان مناسب نیست و ممکن است نتیجهٔ غلط بگیرید. بهتر این است‌که الکتروسکوپ را به روش القا باردار کنید.

۳) نوع الکتریسیتهٔ یک جسم را با الکتروسکوپ تشخیص دهید.

الکتروسکوپی را نخست با بار منفی باردارکنید به طوری‌که ورقهٔ آن انحرافی را نشان دهد.میلهٔ ابونیت یا شانه‌ای را با پارچهٔ پشمی (یا پوست حیوان) مالش دهید و به آرامی به آن نزدیک‌کنید. انحراف ورقه بیشتر می‌شود، سپس میلهٔ شیشه‌ای‌را با پارچهٔ ابریشمی‌مالش‌داده و در فاصلهٔ ۵۰ سانتیمتری‌کلاهک‌الکتروسکوپ نگاه‌دارید و به آرامی به آن نزدیک‌کنید.انحراف ورقه ابتداکم می‌شود. میله‌را به‌تدریج به‌الکتروسکوپ نزدیک‌کنید انحراف صفرمی‌شود واگر خیلی میله را به آن‌نزدیک‌کنید ورقه دوباره از صفحهٔ مقابل خود دور می‌شود. علت را توضیح دهید.

۴) رسانایی و نارسانایی اجسامی راکه در اختیار دارید با الکتروسکوپ تشخیص دهید.

یك سرجسمی را (یا نمونه‌ای از جسمی را) که می‌خواهید رسانایی یا نارسانایی آن را مشخص کنید در دست بگیرید و سر دیگر آن را با الکتروسکوپی که از پیش باردار کرده‌اید تماس دهید: اگر انحراف ورقهٔ الکتروسکوپ صفر شد جسم رساناست و اگر تغییر نکرد جسم نارساناست و اگر انحراف آن اندکی کم شد جسم اندکی رساناست. آزمایش را با نمونه‌های اجسام مختلف مانند ابونیت، لاك، مواد پلاستیکی، پارافین جامد، شیشه، چوب، کاغذ، میله‌های فلزی که در اختیار دارید انجام دهید و نتیجه‌هایی را که به‌دست می‌آورید در جدولی مانند جدول ۱-۱ بنویسید.

جدول ۱-۱

نیمه رسانا	رسانای خوب	نارسانای خوب

۵) در صورتی که الکتروسکوپ در اختیار ندارید بادکنك کوچکی را بادکنید و آن را با نخ ابریشمی آویزان نمایید و به‌وسیلهٔ مالش با پارچهٔ پشمی الکتریسیته‌دار کنید. این بادکنك را که دارای بار منفی می‌شود می‌توانید برای تعیین نوع الکتریسیتهٔ اجسام دیگر به‌کار برید. اگر جسمی دارای بار منفی باشد و به‌آن نزدیك کنید بادکنك از آن دور می‌شود و اگر جسم دارای بار مثبت باشد بادکنك به آن نزدیك می‌گردد. اشیای مختلفی مانند شانه، قلم‌خودنویس، اشیای پلاستیکی، میلهٔ شیشه‌ای و...... را که در اختیار دارید با پارچهٔ پشمی مالش دهید و نوع الکتریسیتهٔ آنها را با نزدیك کردن به‌بادکنك مشخص کرده و یادداشت نمایید، سپس همین اشیا را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهید و به بادکنك نزدیك کنید و اختلافی را که مشاهده می‌نمایید یادداشت کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) توضیح دهید چگونه می‌توانید به وسیلهٔ یك‌میلهٔ ابونیتی که بار منفی دارد و یك‌میلهٔ شیشه‌ای که بار مثبت دارد نوع بار الکتریکی قطعه‌ای از لاك را که با پوست حیوان مالش داده شده است مشخص کنید.

۲) به‌کمك فرضیهٔ الکترونی توضیح دهید:

الف ـ چرا وقتی یك‌میلهٔ ابونیتی با پوست حیوان مالش داده می‌شود بار الکتریکی منفی پیدا می‌کند؟

ب ـ چرا میلهٔ شیشه‌ای به وسیلهٔ مالش با پارچهٔ پشمی یا ابریشمی بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند؟

۳) روی صفحهٔ نارسانایی کرهٔ فلزی A درفاصلهٔ یك‌متری کرهٔ فلزی B که مشابه آن است قرار داده شده است. کرهٔ A دارای بار الکتریکی منفی و کرهٔ B دارای بار الکتریکی مثبت ومساوی با بار کرهٔ A است. توضیح دهید:

الف ـ اگر کرهٔ A را بایك‌نخ ابریشمی خشك به کرهٔ B وصل کنیم دروضع الکترونهای A چه تغییری حاصل می‌شود؟

ب ـ اگر این دوکره را با یك سیم مسی به هم وصل کنیم در وضع الکترونهای کرهٔ A چه تغییری روی خواهد داد؟

۴) الف ـ چگونه یك الکتروسکوپ را می‌توان به وسیلهٔ تماس، دارای بار الکتریکی منفی کرد؟

ب ـ چه عاملی سبب می‌شودکه الکترونهای اضافی که به کلاهك الکتروسکوپ داده می‌شوند به سوی ورقهٔ طلا و صفحهٔ مقابل آن حرکت کنند؟

۵) چگونه یك الکتروسکوپ باردار برای تعیین نوع الکتریسیتهٔ مثبت یا منفی به کارمی‌رود؟

۶) نتایجی راکه از آزمایشهای زیر به دست می‌آیند بیان کنید:

الف ـ میله‌ای از جنس ابونیت را با پارچهٔ پشمی مالش‌داده به الکتروسکوپ بدون باری نزدیك و سپس از آن دورکنیم.

ب ـ میلهٔ ابونیت باردار را با کلاهك الکتروسکوپ کاملا تماس داده سپس از آن دورمی‌کنیم.

ج ـ پس از انجام آزمایش ب میلهٔ شیشه‌ای بارداری را به الکتروسکوپ نزدیك می‌کنیم.

۷) توضیح دهیدکه در حالات زیر چه اتفاق می‌افتد:

الف ـ هرگاه یك میله از جنس ابونیت را با پوست حیوان مالش دهیم،

ب ـ میلهٔ ابونیتی مالش داده شده را نزدیك یك‌کرهٔ فلزی که روی پایهٔ شیشه‌ای قرار دارد بگیریم،

ج ـ درحالتی که میلهٔ ابونیتی نزدیك کره قرارگرفته شده است انگشت دست‌خودرا روی کره بگذاریم و برداریم،

د ـ میله را ازکره دورکنیم.

توضیح دهیدکه چگونه از این روش برای باردارکردن یك الکتروسکوپ با بار الکتریکی مثبت می‌توان استفاده کرد؟

۸) چگونه می‌توانید از یك الکتروسکوپ باردار، برای مرتب‌کردن چند ماده برحسب

درجهٔ قابلیت رسانایی آنها استفاده کنید.

۹) ساختمان یک الکتروسکوپ راشرح دهید. یك الکتروسکوپ و یك میله از جنس ابونیت و یك پوست حیوان در اختیار دارید. توضیح دهید چگونه می‌توانید از این وسایل برای تعیین نوع الکتریسیتهٔ یك جسم باردار استفاده کنید.

۱۰) الکتریسیتهٔ القایی را تعریف کنید. دو کرهٔ فلزی یکسان که روی پایه‌های عایق نصب شده‌اند و یك میله از جنس ابونیت و یك تکه پوست خز در اختیار دارید. توضیح دهید چگونه می‌توانید:

الف ـ در یکی از کره‌ها به روش القا بار الکتریکی مثبت ایجاد کنید.

ب ـ در یك کره بار مثبت و در دیگری بار منفی به مقدار مساوی ایجاد کنید.

۱۱) **الکتروفور را** شرح دهید و با رسم شکل نشان دهید چگونه می‌توانید بار مثبت از آن به دست آورید.

۱۲) بار الکتریکی چگـونه بر روی اجسام رسانا و نارسانا پخش می‌شود ؟

۱۳) آیا می‌توان بار الکتریکی با نوع مشخصی مثلا منفی را روی جدار داخلی یك کره فلزی تو خالی متمرکز کرد ؟ اگر ممکن است چگونگی عمل را با کشیدن شکل توضیح دهید .

۱۴) آیا می‌توانید بار الکتریکی مشخصی را روی سطح درونی یك لیوان شیشه‌ای متمرکز کنید ؟ اگر جواب مثبت است چگونگی عمل را شرح دهید و نوع بار را مشخص کنید .

۱۵) چرا آزمایشهــای الکتریسیته ساکن در هوای مرطوب بــه خوبی صورت نمی‌گیرند؟

۱۶) اگر گلوله چوب پنبه‌ای کوچك بارداری را که به صورت آونگ به نخی آویزان است به یك کره فلزی بدون بار الکتریکی که روی پایه عایقی قرار دارد نزدیك کنیم جذب کره می‌شود . چرا ؟

اگر کره فلزی را با زمین ارتباط دهیم گلوله چوب پنبه‌ای باز هم بهتر جذب آن می‌شود . علت را توضیح دهید .

۱۷) چه نکاتی را باید هنگام کار کردن بـا الکتروسکوپ در نظر داشت ؟

پاسخ به پرسشهای متن

۱ـ۱) بلی. برق آسمان در واقع جرقهٔ بسیار بزرگی است که بین دو توده ابر باردار (از نوع مخالف) یا بین یك توده ابر و زمین می‌جهد یا به‌اصطلاح علمی، تخلیهٔ الکتریکی صورت می‌گیرد. تخلیهٔ الکتریکی بین ابر و زمین صاعقه نامیده می‌شود. صاعقه ممکن است به ساختمانها آسیب برساند برای جلوگیری از آسیب صاعقه، برقگیر به‌کار می‌رود. برقگیر میلهٔ آهنی نوك

تیزی است که بالای ساختمان نصب می‌شود وقسمت پایین آن به زمین متصل‌می گردد. هنگامی که یك توده ابر با بار الکتریکی مثلا منفی از بالای برقگیر می گذرد ،نوك آن الکتریسیتهٔ مثبت و در پایین آن الکتریسیتهٔ منفی القامی‌شود. الکتریسیتهٔ منفی (یعنی‌الکترونها) به زمین می‌رود و الکتریسیتهٔ مثبت با مقداری از الکتریسیتهٔ منفی ابـر خنثی می گـردد، در نتیجه از شدت تراکم بار الکتریکی در ابر کاسته می‌شود و احتمال وقـوع تخلیهٔ الکتریکی به صـورت صاعقه بین ابر و برقگیر کاهش می‌یابد.

۱–۲) برای این‌که الکتریسیتهٔ ساکن تولیدشده در بدنهٔ نفتکش از راه این زنجیر به زمین برود وازایجاد جرقه و انفجار احتمالی بنزین جلوگیری شود.

۱–۳) این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد که گلوله‌ها نخست جذب میله می‌گردند و در اثر تماس بـا آن الکتریسیته‌دارشده سپس بــه طرف میز رانده می‌شوند . در اثر بر خورد با میز الکتریسیته خود را از راه میز به زمین منتقل کرده و بدون بارالکتریکی می‌شوند و دوباره جذب میله می‌گردند . این عمل‌آن قدر ادامه می‌یابد تا بیشتر بار الکتریکی میله به زمین منتقل شود .

۱–۴) میلهٔ فلزی و بـدن انسان هر دو رسـانا هستند و در نتیجه الکتریسیته‌ای‌که بـه وسیلهٔ مالش در میله ایجاد می‌شود به زمین می‌رود و در آن باقی نمی‌ماندکه ظاهر بشود.

۱–۵) در میلهٔ ابونیتی الکتریسیتهٔ منفی (یعنی الکترون) جمع می‌شود و این الکترونها از پارچهٔپشمی‌به میله‌منتقل‌می‌شوند.بنابراین‌در پارچهٔ پشمی‌بار الکتریکی‌مثبت تـولیدمی‌شود.

۱–۶)کافی است میلهٔ فلزی به دستهٔ عایقی وصل شود یا با قطعهٔ پارچهٔ ابریشمی خشك در دست گرفته شود.

۱–۷) برای این منظور است‌که‌الکتروسکوپ از اثر بارهای اضافی‌که احتمالا ممکن‌است در هوا موجود باشند محافظت شود و بتواند بارهای الکتریکی خیلی ضعیف را آشکار سازد.

۱–۸) بلی،اگرالکتروسکوپ مدرج‌باشد مقدار بارالکتریکی را نیز می‌توان اندازه‌گرفت.

۱–۹) الکتروسکوپ را قبلا باالکتریسیتهٔ مثبت یامنفی باردار می‌کنند سپس جسم باردار را به آن نزدیك می‌نمایند. اگر بار الکتریکی جسم همنـوع بار الکتریکی الکتروسکوپ باشد ورقهٔ آن بیشتر منحرف می‌شود و اگر مخالف باشد انحراف ورقـهٔ آن‌کمتر می‌شود. مـراجعه شود به «نکاتی راکه باید هنگام‌کار با الکتروسکوپ در نظر داشت».

۱–۱۰) درکرهٔ A بار منفی و درکرهٔ B بار مثبت.

۱–۱۱) در آن سر میله‌که مجاور بـار منفی اسـت الکتریسیتهٔ مثبت و در سر دیگر آن الکتریسیتهٔ منفی جمع می‌شود. زیرا الکترونهای آزاد موجود در میلهٔ فلزی از آن سری‌که‌بار منفی به آن نزدیك می‌شود دور می گردند.

۱–۱۲) اگر درنظر بگیریم‌که الکتریسیتهٔ‌منفی از الکترونهاتشکیل یافته است و همچنین

اگر به خاطر داشته باشیم‌که بارهای الکتریکی‌همنام یکدیگر را دفع می‌کنند، می‌توانیم تصور کنیم‌که الکترونهای آزاد اضافی موجود در یك جسم چون می‌خواهند از هم دور شـوند روی بزرگترین سطح ممکن، (یعنی سطح خارجی جسم) جمع می‌شوند. چون الکتریسیتهٔ مثبت‌هم در روی سطح خارجی جسم جمع‌می‌شود می‌توان گفت‌که الکترونها از اتمهای موجود درروی سطح خارجی جسم رسانا خارج می‌شوند.

۱-۱۳) زمین، هم رسانا وهم‌دارای الکترون آزاد است. وقتی الکتروسکوپ بارمثبت‌دار، به زمین متصل می‌شود تعدادی از الکترونهای زمین را به سـوی خود می‌کشد. در نتیجه بـار الکتریکی مثبت آن توسط بار الکتریکی منفی موجود در الکترونها خنثی می‌شود .

۲

میدان الکتریکی، پتانسیل و ظرفیت الکتریکی

ضمن مطالعه بخش الکتریسیته ساکن، دیدید اجسامی که بار الکتریکی دارند بر یکدیگر نیرو وارد می‌سازند. همان طور که نیروی جاذبه موجود بین اجسام یك نیروی بنیادی است که از جرم مایه می‌گیرد، نیروی الکتریکی هم از «بار الکتریکی» که مانند جرم یك خاصیت بنیادی ماده است سرچشمه می‌گیرد. می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار بر هم وارد می‌سازند ممکن است جاذبه یا دافعه باشد: اجسامی که دارای بار الکتریکی هم نوع هستند یکدیگر را می‌رانند و اجسامی که دارای بار الکتریکی از نوع مخالف هستند یکدیگر را می‌ربایند.

اجسام باردار، چه درحال حرکت باشند و چه در حال سکون، همواره برهم نیرو وارد می‌سازند ولی معمولاً هنگامی که اجسام باردار درحال سکون هستند این نیروها مورد مطالعه قرار می‌گیرند به‌همین‌جهت آنها را نیروهای جاذبه یا دافعه الکتروستاتیکی نامیده‌اند و چون نخستین‌بار اندازه این نیروها توسط کولن مشخص گردیده است آنهارا نیروهای‌کولنی نیز نامیده‌اند.

اجسام باردار، اگر هم از یکدیگر فاصله داشته باشند برهم نیروی جاذبه یادافعه الکتریکی وارد می‌سازند، بنابراین فرض براین است که اطراف بار الکتریکی «میدان الکتریکی» وجود دارد. این میدان باچشم دیده نمی‌شود ولی واقعیت دارد. در این بخش نخست به شرح نیروی جاذبه یا دافعه کولنی و میدان الکتریکی می‌پردازیم سپس، پتانسیل الکتریکی و خازنهای الکتریکی و ظرفیت‌آنها رامورد بحث قرار می‌دهیم.

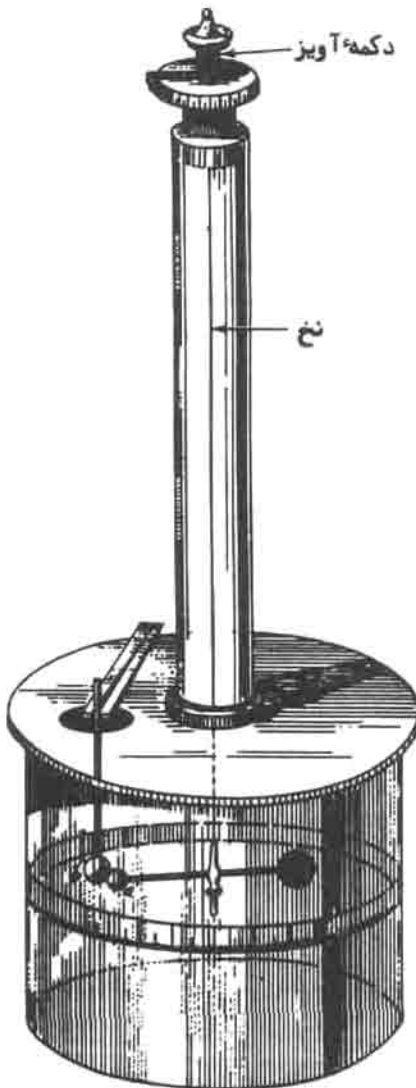
نیروهای بین بارهای الکتریکی

گفتیم همهٔ مـواد دارای ذراتی هستند کـه الکتریسیتهٔ مثبت یا منفی دارند وبه‌همین جهت بین اتمها و مولکولهای مواد نیروهای جاذبه یا دافعهٔ الکتریکی وجود دارد . بسیاری از خاصیتهای ماده از نیروهای الکتریکی میان این ذرات باردارنتیجه می‌شوند. مثلا این نیروها سهم بـزرگی در پیوند بین الکترونها و پروتونها برای تشکیل اتمها یـا در ترکیب شیمیایی اتمها برای تشکیل مولکولها دارند. در اجسام معمولی نیروهای الکتریکی بـه صورت نیروهای پیوستگی یاچسبندگی بین‌مولکولها در می‌آیند یا به صورت نیروی اصطکاك بـه هنگام حرکت یك جسم برروی جسم دیگر ظاهر می‌شوند.

آگاهی کامل ازرابطهٔ بین ماده والکتریسیته بستگی دارد به دانستن مـاهیت واقعی نیروهای الکتریکی که دو ذره یا دو جسم باردار برهم وارد می‌سازند . درسال ۱۷۸۵ میلادی ،کولن[1] دانشمند فرانسوی موفق به‌شناختن این نیروها شد .

آزمایشهای کولن

شکل ۲ ـ ۱ اسبابی را نشان می‌دهد که توسط کولن برای اندازه‌گیری نیروهای الکتریکی به‌کار رفته است : میلهٔ سبکی که از مادهٔ نارسانا ساخته‌شده و به‌دوسر آن دوکرهٔ‌کوچك‌فلزی نصب گردیده است توسط سیم باریك و بلندی به‌طور افقی آویزان‌است و می‌تواند بچرخد .کرهٔ فلزی دیگری که به میلـهٔ نارسانایی آویزان‌است نزدیك‌یکی‌ازکره‌های‌دوسرمیله قرار می‌گیرد ودرجای خود ثابت است. هرگاه‌بـه یکسان داده شود، نیروی دافعهٔ بین‌این دوبارسبب می‌شودکه‌کرهٔ متحرك ازکرهٔ ثابت دور شود و میله افقی بچرخد. چرخش میله سبب تاب خوردن سیم می‌شود، درنتیجه، نیروی مقاومی در مقابل‌چرخش



شکل ۲-۱ ـ دستگاه آزمایش‌کولن

۱- Coulomb

میله پدید می‌آید که هرچه تاب بیشتر باشد این نیرو بزرگتر است . آزمایش نشان داده است که اندازهٔ تاب یك سیم متناسب با نیرویی است که سبب تاب خوردن آن می‌شود. اگر از ابتدا زاویه‌های تاب سیم به ازای نیروهای دانسته‌ای اندازه گرفته شود نیروی مجهولی که سبب تاب زاویهٔ معینی می‌شود به‌آسانی تعیین می گردد . به‌خاطر داشته باشید که دو کرهٔ مورد بحث ماکوچك هستند وبار الکتریکی روی هریك ازآنها درحکم باری است که دریك نقطه متمرکزشده است و به‌همین جهت به‌آن بارالکتریکی نقطه‌ای نیز می گویند . در اسباب کولن به‌دو کرهٔ مجاور هم دوبار الکتریکی همنام داده می‌شود و زاویهٔ تاب سیم که در اثرنیروی دافعه بین این‌دوبار به وجود می‌آید روی درجه‌بندی که درپایین اسباب است خوانده می‌شود . با همین روش می‌توان نیروهای جاذبهٔ بین دوبار غیر همنام را نیز اندازه گرفت .

کولن آزمایشهای خودرا در دومرحله انجام داد : در مرحلهٔ نخست به دوکرهٔ ساکن و متحرك بارهای الکتریکی یکسان (مساوی و همنام) داد و نیروی دافعهٔ بین آنها را در فاصله‌های مختلف اندازه گیری کرد ونتیجه گرفت که این نیرو به نسبت عکس مجذورفاصلهٔ دوبار الکتریکی تغییر می‌کند . یعنی وقتی که فاصلهٔ دوبارالکتریکی دوبرابرمی‌شود نیروی بین‌آنها به $\frac{۱}{۲^۲}$ یا $\frac{۱}{۴}$ مقدار اولیه‌اش می‌رسد و هنگامی که فاصلهٔ بین دوبار الکتریکی سه‌برابر می‌شود نیرو $\frac{۱}{۳^۲}$ یا $\frac{۱}{۹}$ اندازهٔ‌نخستین خودمی گردد.

در مرحلهٔ‌دوم، کولن یك سری بارهای دانستهٔ متفاوت به دو کره داد و نیروهای بین آنها را در فاصلهٔ ثابت اندازه گیری کرد ونتیجه گرفت که نیروی جاذبه یا دافعه‌ای که میان دوبار الکتریکی روی کره‌ها به وجود می‌آید مستقیماً متناسب با اندازهٔ بار الکتریکی روی هریك‌ازکره‌ها و درنتیجه‌متناسب با حاصل ضرب آنهاست .

پرسش ۲- ۱ - اگر اندازهٔ بار الکتریکی‌روی هریك از کره‌ها دوبرابر شود نیروی بین آنها چند برابر خواهد شد ؟

قانون کولن- نتایج‌تجربی بالابه‌نام‌قانون کولن به‌صورت زیر بیان می‌شود :

نیروی جاذبه یا دافعهٔ بین دوبارالکتریکی نقطه‌ای متناسب با حاصل ضرب بارهاست و نسبت معکوس با مجذورفاصلهٔ میان دوبار دارد .

اگر دوبار الکتریکی را به q_1 و q_2 و فاصلهٔ بین‌آنها را به r و نیرو را به F نمایش دهیم قانون کولن به صورت رابطهٔ ریاضی زیر نوشته می‌شود:

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

رابطهٔ بالا به‌صورت تناسب است و می‌توان آن را به‌صورت معادلهٔ زیر نوشت :

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad (۱-۲)$$

این رابطه در مواردی بکار می‌رود که ابعاد دو جسم باردار خیلی کوچك باشند بـه طوری که بتوان آنها را در حکم «نقطه باردار» دانست و یا این که دو جسم باردار دوکره باشند که بارالکتریکی به‌طور یکنواخت روی‌آنها پخش شده باشد (در صورتی که دو جسم کروی باشند r فاصله بین دو مرکزآنهاست.)

اگر این اجسام بزرگ و به هم نزدیك باشند ،

شکل و ابعاد آنها ، هم چنین چگـونگی توزیع بار الکتریکی در آنهـا نیز در اندازه نیرو مؤثر است . علاوه براین جنس محیطی که اجسام در آن قرار دارند ویا ماده‌ای که بین دو جسم قرار می‌گیرد در اندازه نیرو نقش مؤثری دارد .

K ضریبی است که بستگی به‌واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی داردکه دوجسم باردار درآن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌گیری نیرو در خلأ* صورت گیرد اندازه K در دستگاه بین‌المللی واحدها که درآن F بـر حسب نیوتن، و q بر حسب کـولن[1] (با علامت اختصاری C) و r بر حسب متر است تقـریباً برابر است با :

$$K \simeq 9/0 \times 10^{9} \frac{N.m^2}{C^2} \qquad (2-2)$$

بنابراین

$$F_{(N)} = 9/0 \times 10^{9} \frac{q\,q'}{r^2} \frac{(C)^2}{(m^2)} \qquad (3-2)$$

اگر به‌هنگام کار بردن این معادله بار مثبت را با علامت مثبت و بارمنفی را با علامت منفی منظور داریم نیروی دافعه بین دوبار همنام با علامت مثبت و نیروی جاذبه بین دوبار غیرهمنام باعلامت منفی درنظر گرفته می‌شود .

مثال- نیروی بین دوبار الکتریکی مثبت ، هریك برابر یك کولن، وقتی که فاصلهٔ بین آنها یك کیلومتر باشد چه اندازه است ؟

داریم : $q = 1C = q'$

$$r = 1km = 1000m = 10^3 m$$

$$F = 9/0 \times 10^9 \times \frac{q\,q}{r^2} = 9/0 \times 10^9 \times \frac{1 \times 1}{(10^3)^2} = 9/0 \times 10^3 = 9000N$$

علامت نیرو مثبت است و نشان می‌دهد کـه نیرو دافعه است. این مثال نشان می‌دهد که یك کولن بار الکتریکی بسیار بزرگی است . در اینجا دوبـار الکتریکی یك کولنی به‌فاصلهٔ یك کیلومتر از هم قرار دارند و یکدیگر را با نیروی ۹۰۰۰ نیوتن (که بیش از ۹۰۰ کیلوگرم نیرو است) می‌رانند . بـارهای ساکن معمولاً خیلی کمتر از یك کولن هستند.

پرسش ۲-۲- به‌نظر شما ،آیا قانون کولن دربارهٔ دو جسم بزرگ باردار نزدیك به‌هم نیز صادق است؟

پرسش ۲-۳- بنابه قانون عمل وعکس‌العمل نیـروهایـی کـه دو جـسم باردار بریك دیگـر وارد می‌سازند، چه‌جاذبه وچه دافعه همواره برابر و در خلاف جهت یکدیگرند. آیابرابربودن اندازه‌این‌دو نیرو مستلزم برابر بودن بارهای الکتریکی دوجسم است ؟

اندازه‌گیری نیرو معمولاً درهوا صورت میگیرد ومی‌توان برای K درهوا نیزهمین مقدار رادر نظر گرفت . چنیـن متـداول است که K را بـه صورت $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ نمایش می‌دهند. ε_0 مقدار ثابت دیگری است که «قابلیت گذردهی[2] فضای آزاد یا خلأ*» نامیده می‌شود واندازه آن به آسانی از رابطه $K=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

۱-تعریف علمی کولن را دربخش ۳ خواهید دید.

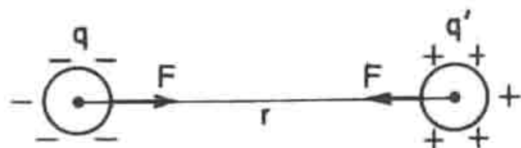
۲ - Permitivity

بدست‌میآید.

$$\varepsilon_0 \approx 8/85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2} \quad (۲-۴)$$

ازرابطه (۲-۳) فقط اندازه نیروی کولنی به‌دست‌می‌آید. راستای‌این‌نیروهمواره درامتدادخطی است که‌دوجسم رابه‌هم‌وصل‌میکند(اگردوجسم کروی باشند درامتداد خطی‌است‌که دومرکز آنها را به هم وصل می‌نماید) و جهت آن بستگی به نوع بارهای الکتریکی دو جسم دارد و چنان که گفتیم بارهای هم‌نوع یکدیگررادفع وبارهای‌غیرهم نوع یکدیگر را جذب می‌کنند شکل(۲-۲).





شکل ۲-۲- بارهای هم‌نوع یکدیگر رادفع وبارهای غیر هم نوع یکدیگر را جذب می‌کنند.

میدان الکتریکی

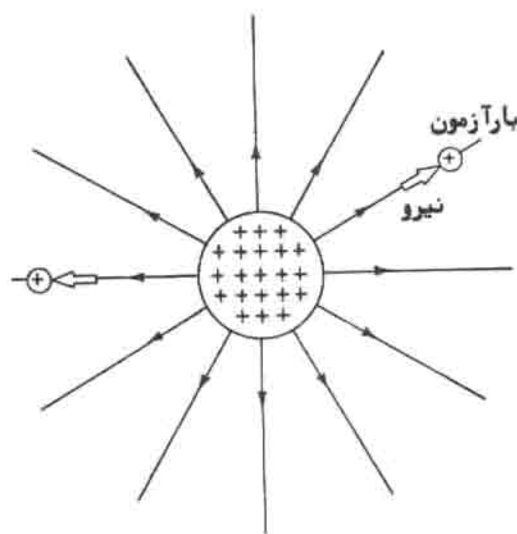
جسمی که دارای بار الکتریکی است بر روی تمام اجسام باردار دیگری که در اطراف آن قرار دارند نیرو وارد می‌کند. برای توصیف این‌واقعیت در فضای اطراف یك جسم باردار میدان نیرو درنظر گرفته می‌شودکه آن را میدان الکتریکی می‌نامند.

میدان الکتریکی دارای این خاصیت مهم است که برهرجسم باردار الکتریکی‌که در آن قرارگیرد نیرو وارد می‌سازد.

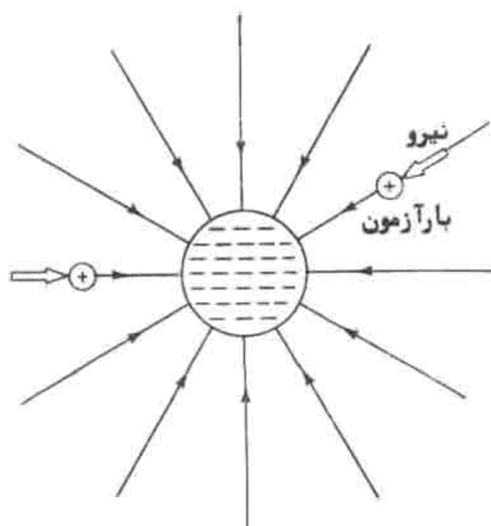
برای این‌که میدان الکتریکی را در اطراف یك جسم باردار بررسی کنند جسم کوچکی راکه بار مثبت دارد و ما آن را بار آزمون می‌نامیم، درنقاط مختلف اطراف جسم باردار قرار مــی‌دهند ونیروی وارد برآن را اندازه می‌گیرند. به‌این ترتیب‌ممکن است وضع‌نیروهایی که درهمهٔ نقاط میدان الکتریکی برروی بار آزمون وارد می‌شود مشخص گردد.

میدان الکتریکی را می‌توان با **خطوط‌نیروی** الکتریکی نمایش داد. هرخط نیرو درمیدان‌الکتریکی طوری رسم می‌شود که جهت آن در هرنقطه جهت میدان الکتریکی را نشان می‌دهد.

جهت میدان الکتریکی درهر نقطه از میدان هم‌جهت با نیرویی است‌که بربار مثبت آزمون‌واقع



شکل ۲-۳- خطوط نیروی اطراف یك‌کره‌که بار مثبت دارد

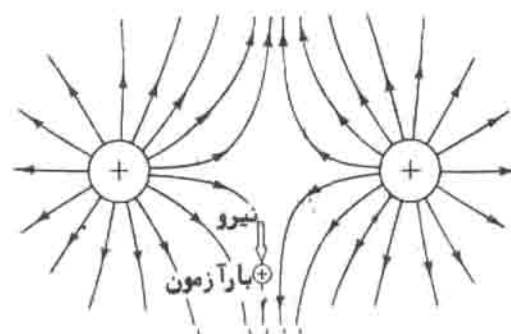


شکل ۲-۴- خطوط نیروی اطراف یك کره‌که بار منفی دارد

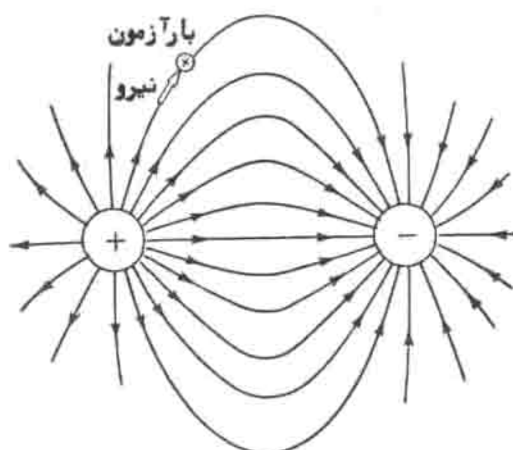
درآن نقطه وارد می‌شود . دو شکل ۲-۳ و ۲-۴ وضع خطوط نیروی الکتریکی‌رادر اطراف دو جسم کروی‌که دارای بار الکتریکی مثبت و منفی هستند نشان می‌دهد .

پرسش ۲-۴- اگر بارالکتریکی‌مثبت آزمون در میدان‌هریك‌ازدوجسم باردار قرار گیرد وبتواند آزادانه حرکت‌کند راستا وجهت حرکت آن چگونه است ؟

شکلهای ۲-۵ و ۲-۶ وضع خطوط نیرو بین دو بار الکتریکی همنام و دو بار الکتریکی غیر همنام را نشان می‌دهند .



شکل ۲-۵- خطوط نیروی اطراف دوبار همنام

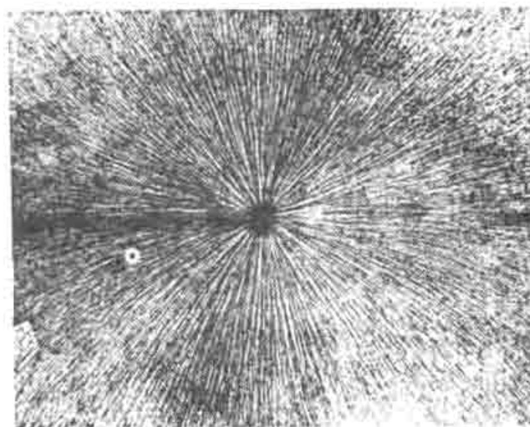


شکل ۲-۶- خطوط نیروی اطراف دوبارغیرهمنام

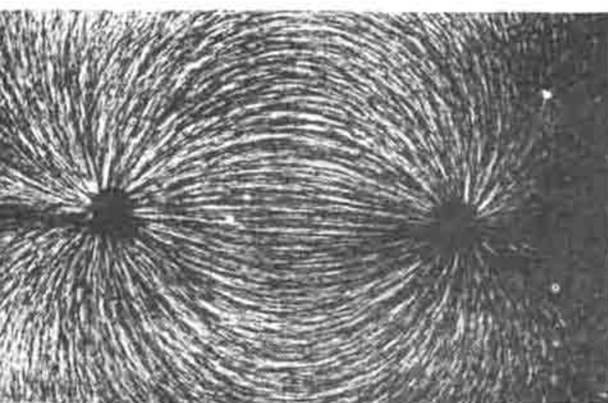
شکلهای (۲-۷- الف-ب-پ- ت)نمونه‌های عکس برداری شده‌ازخطوط میدان‌راکه به‌وسیله پاره نخهای کوچك‌وباریك معلق دریك‌روغن‌تشکیل‌شده‌اند نشان می‌دهد .

وجود میدان الکتریکی سبب می‌شودکه در دوسر هرپاره نخ دوبار الکتریکی مخالف القا شود و در نتیجه ، پاره نخها به دنبال یکدیگر در امتداد خطوط میدان قرارگیرند.

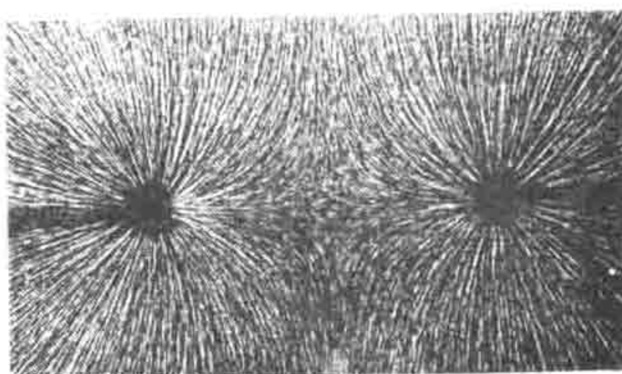
بنابرنظریه‌های موجود ، دو بار الکتریکی مستقیماً بریکدیگر نیرو واردنمی‌کنند بلکه این‌نیرو به‌وسیلهٔ میدانهای الکتریکی‌بربارها **اعمال**می‌شود، به‌این معنی که ، میدان الکتریکی حاصل ازبار الکتریکی اولی برروی بار دومی نیرو واردمی‌کند و با وجه مشابهی میدان حاصل از بار الکتریکی دومی هم برروی باراولی **نیرویی** مساوی ودرخلاف جهت نیروی اولی وارد می‌سازد .



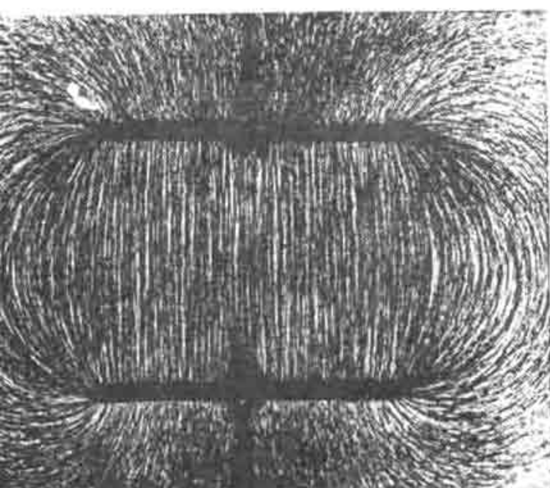
الف- میدان حاصل از یک بار الکتریکی منفرد



ب- میدان الکتریکی حاصل از دو بار الکتریکی غیرهم‌نوع



پ- میدان الکتریکی حاصل از دو بار الکتریکی هم نوع



ت - میدان یکنواخت
بین دو صفحه موازی که دارای بار الکتریکی مخالف هستند.

شکل ۲-۷- نمایش واقعی از خطوط میدان الکتریکی

شدت میدان الکتریکی

نیرویی که در یک میدان الکتریکی بر روی واحد بار مثبت الکتریکی ، واقع در هرنقطه از این میدان ، وارد می‌شود شدت میدان الکتریکی در آن نقطه نام دارد و به E نمایش داده می‌شود. بنابراین اگر بارمثبت q' دریک نقطهٔ معین ازمیدان الکتریکی واقع شود و بر آن نیروی F اثر کند شدت میدان الکتریکی در آن نقطه برابر خواهد بود با:

$$E=\frac{F}{q'} \qquad (۲-۵)$$

پرسش ۲-۵- چگونه می‌توان این رابطه را از قانون کولن نتیجه گرفت ؟

واحد شدت میدان الکتریکی در دستگاه واحدهای بین المللی $\frac{\text{نیوتن}}{\text{کولن}}$ ($\frac{N}{C}$) است ، زیرا در این

دستگاه واحد نیرو، نیوتن و واحد مقدار الکتریسیته، کولن است .

مثال ـ دریک میدان الکتریکی نیرویی برابر ۰/۲ نیوتن بر بار الکتریکی مثبت برابر $۱۰^{-۵}$ کولن که در نقطه‌ای از این میدان قرار دارد وارد می‌شود . اندازهٔ شدت میدان الکتریکی در این نقطه چیست ؟

در اینجا : $F = ۰/۲N$

و $q' = +۱۰^{-۵}C$

بنابراین

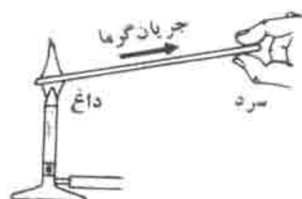
$$E = \frac{F}{q'} = \frac{۰/۲(N)}{۱۰^{-۵}(C)} = ۲ \times ۱۰^{۴} (\frac{N}{C})$$

پرسش ۲ـ۶ـ در مثال بالا اگر به‌جای بار الکتریکی مثبت ، بار منفی که اندازهٔ آن نصف بار مثبت است در همان نقطه قرار داده شود چه نیرویی بر آن وارد می‌شود ؟

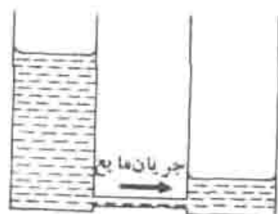
شدت میدان الکتریکی مانند نیرو کمیت برداری است که دارای اندازه وجهت وراستا است. راستای E و F همواره یکی است ولی نیروی وارد بربار مثبت هم جهت با میدان و نیروی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان است .

اختلاف پتانسیل الکتریکی

دیدیم وقتی یک جسم رسانا که بار الکتریکی منفی دارد به‌زمین متصل می‌شود الکترونها (یعنی بارهای منفی) ازآن جسم به زمین می‌روند همچنین اگر یک جسم رسانا که بار الکتریکی مثبت دارد با زمین اتصال پیدا کند تعدادی الکترون از زمین به‌جسم منتقل می‌شود . حرکت الکترونها، یا به‌عبارت‌دیگر انتقال الکتریسیته، به‌این علت صورت می گیرد که بین جسم رسانا وزمین اختلاف پتانسیل وجوددارد. بنابراین می‌توان اختلاف پتانسیل را عامل یاشرط الکتریکی دانست که سبب جاری شدن الکتریسیته از نقطه‌ای به‌نقطهٔ دیگر می‌شود . با توجه به این واقعیت، می‌توان اختلاف پتانسیل‌را با اختلاف‌دما که سبب‌انتقال گرما دریک‌جسم‌می‌شود یا با اختلاف فشار مایع بین دوظرف به هم‌پیوسته‌که سبب‌جاری



الف- اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود.



ب- اختلاف فشار مایع سبب جاری شدن مایع می‌شود



ج- اختلاف پتانسیل‌سبب جاری شدن الکتریسیته می‌شود.

شکل ۲ـ۸ـ مقایسهٔ اختلاف پتانسیل با اختلاف دما و اختلاف فشار در مایع.

شدن مایع بین دوظرف می گردد مقایسه کرد (شکل ۲-۸). همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما را در یك جسم مشخص می کند یا اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌نماید اختلاف پتانسیل الکتریکی هم حاکم بر جهت جریان یافتن الکتریسیته است.

زمین به‌عنوان پتانسیل الکتریکی صفر-

در اندازه گیریهای پتانسیل الکتریکی لازم است که مبدأ مقایسهٔ مناسبی با پتانسیل الکتریکی صفر، انتخاب شود. درست به‌همان گونه که در اندازه گیری دما، نقطهٔ ذوب یخ به عنوان صفر قبول شده است. در عمل، زمین رابه‌عنوان مبدأمقایسه‌ای که پتانسیل الکتریکی آن صفر است انتخاب کرده‌اند.

این انتخاب در واقع برای آسانی کار صورت گرفته است و معنایش این نیست که زمین دارای بار الکتریکی نیست همان‌طور که نمی‌توان گفت یخ صفر درجه دارای انرژی داخلی نیست. در حقیقت زمین دارای بار منفی است ولی اندازهٔ آن به قدری زیاد است که دادن مقداری بارالکتریکی به زمین یا گرفتن از آن تأثیر محسوسی در بارالکتریکی آن نخواهد داشت.

تذکر - همانطور که برای دما صفر مطلق در نظر گرفته می‌شود برای پتانسیل الکتریکی هم صفر مطلق پتانسیل منظور می گردد و آن پتانسیل نقاط واقع در بینهایت است.

پتانسیل الکتریکی یك جسم باردار

پتانسیل اجسام باردار رامعمولا نسبت به زمین می‌سنجند ودراین سنجش پتانسیل زمین رابنابه قرارداد صفر می گیرند. ،هنگامی که یك جسم باردار به وسیله یك رشته سیم به زمین متصل می‌شود (شکل ۲-۸-ج) اگر الکترونها از زمین به‌سوی جسم جریان یابند پتانسیل جسم مثبت است برعکس اگر در این ارتباط الکتریکی الکترونها ازجسم به زمین بروند پتانسیل جسم منفی است . بنابراین اجسام باردار پیش از ارتباط الکتریکی با زمین چه‌پتانسیل مثبت داشته باشند چه‌پتانسیل منفی ،پس‌از اتصال به‌زمین پتانسیل آنهاصفر می‌شود.

پرسش ۲-۷- وقتی که‌دو جسم باردار بایك‌رشته سیم به هم متصل می‌شوند،آیا جهت جریان الکترونها همیشه از جسمی که الکتریسیته بیشتر دارد به طرف جسمی است که الکتریسیته کمتر دارد ؟

پرسش ۲-۸- در بخش ۱ دیدید که چگالی سطحی الکتریکی درنقاط برجسته یك جسم رسانای باردار بیشتر است .آیا پتانسیل الکتریکی این نقاط نیز بیشتر است ؟

اندازه پتانسیل الکتریکی - پتانسیل الکتریکی یك جسم‌باردار ،که‌آن را به V نمایش می‌دهیم ، بنا به تعریف عبارت‌است از کاری‌که بایدانجام گیردتاواحد بارالکتریکی مثبت اززمین به‌جسم‌انتقال یابدوواحد آن ولت[1] است. بنابراین اگر برای انتقال بار مثبت q کار W لازم باشد پتانسیل جسم ازرابطهٔ زیرحساب می‌شود :

$$\text{(ولت)}V=\frac{W\ \text{(ژول)}}{q\ \text{(کولن)}} \qquad (۲-۶)$$

۱- تعریف کامل ولت را در بخش ۳ خواهید دید .

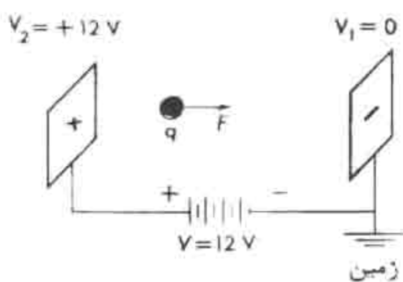
پرسش ۲-۹- بنا به قانون بقاء انرژی ، کاری که برای انتقال بار q انجام می‌گیرد چه می‌شود ؟

اختلاف پتانسیل بین دوجسم باردار - اختلاف پتانسیل بین دوجسم باردارکه پتانسیل آنها V_1 و V_2 است بنابه تعریف عبارت است از انرژی که باید مصرف شود تا واحد بارالکتریکی مثبت از یك جسم به جسم دیگر جریان یابد. اگراین اختلاف پتانسیل را نیز به V نمایش دهیم بنا به این تعریف خواهیم داشت.

$$V = V_2 - V_1 \qquad (۲-۷)$$

مثلا وقتی که می‌گوئیم اختلاف پتانسیل میان دو قطب یك باتری اتومبیل ۱۲ ولت است بدین معنی است که برای انتقال واحد بار الکتریکی (یعنی یك کولن) ازیك قطب به قطب دیگر ۱۲ ژول انرژی مصرف یاآزاد می‌شود اگرقطب منفی این باتری رابه زمین وصل کنیم پتانسیل آن صفر و پتانسیل قطب مثبت ۱۲+ ولت می‌شود. برعکس اگرقطب مثبت باتری رابه زمین متصل سازیم پتانسیل این قطب صفر و پتانسیل قطب منفی ۱۲- ولت می گردد . بنابراین اختلاف میان دوقطب درهرحال ثابت برابر ۱۲ ولت ثابت می‌ماند .

در نظر بگیریم که دو قطب چنین باتری ۱۲ ولتی را مطابق شکل (۲-۹) به دو صفحه فلزی V_1 و V_2 وصل کرده‌ایم. اگرصفحه V_1 راکه‌دارای پتانسیل منفی است به زمین وصل کنیم پتانسیل آن صفر می گردد و پتانسیل صفحه V_2 در ۱۲+ ولت نگاهداشته می‌شود. اگر بخواهیم در این حالت بار منفی q- را از V_2 به V_1 انتقال دهیم باید به‌اندازه $W = Vq$ انرژی مصرف‌کنیم، برعکس اگر همین



شکل ۲-۹- وقتی بارالکتریکی q از یك نقطه به‌نقطه‌دیگرکه بین آنها اختلاف پتانسیل V موجود است انتقال می‌یابد انرژی Vq مصرف یاآزاد می‌شود.

بارالکتریکی را از V_1 به V_2 برگردانیم انرژی Vq آزاد خواهد شد.

پرسش ۲-۱۰- اگر بخواهیم بارمثبت q+ را از V_2 به V_1 یابرعکس انتقال‌دهیم انرژی‌چگونه مصرف یاآزاد خواهد شد ؟

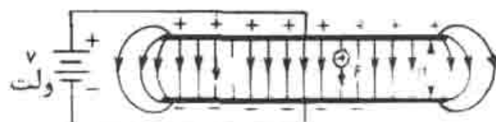
در این مثال اگر V_1 و V_2 بایك رشته سیم به هم متصل شوند الکترونها به سوی V_2 جریان می‌یابند وانرژی آزادشده به گرما تبدیل می‌شود .

پرسش ۲-۱۱- اگریك الکترون که‌بارالکتریکی آن‌در حدود $e \simeq ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}$ کولن است ازنقطه A به نقطه B که اختلاف پتانسیل میان آن دونقطه یك ولت است برود کار حاصل از انتقال آن چند ژول است ؟

میدان الکتریکی یکنواخت- در بسیاری از آزمایشهایی که به منظور بررسی ساختمان اتم انجام می گیرد، لازم است که ذرات باردار را ازیك میدان‌الکتریکی یکنواخت عبور دهند و رفتار ذرات را دراین‌میدان مشاهده کنند. میدان یکنواخت میدانی است که در حجم محدودی ازفضا شدت وجهت آن ثابت باشد. برای ایجاد چنین میدانی می‌توانیم دو صفحه فلزی

را که مطابق شکل (۲ــ۱۰) مقابل یك‌دیگر به طور موازی قرار داده می‌شوند به‌دو قطب یـك باتری متصل کنیم. دراین صورت در فضای بین دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی ایجاد می‌شود. ولی در فضای بیرون دو صفحه و در مجاورت لبه صفحه‌ها به‌طوری که در شکل دیده می‌شود میدان یکنواخت نیست.

فرض کنید میخواهیم بـار مثبت $+q$ را از صفحه بالایی به‌صفحه پایینی منتقل کنیم. انرژی‌لازم



شکل ۲ـ۱۰ـ میدان الکتریکی میان دو صفحه موازی باردار یکنواخت است.

برای انجام این‌کار ، چنان‌که می‌دانیم[1] برابر حاصل ضــرب نیرو در تغییر مکان است یعنی : $W = Fd$. برای بدست‌آوردن هم ارزالکتریکی این معادله‌کافی است روابط $W = Vq$ و $F = qE$ را بــه کار بریم بنابراین اگر در رابطه $W = Fd$ بــه جای W و F معادل‌آنها را قرار دهیم خواهیم داشت :

$$Vq = qE . d$$

یا:

$$\boxed{E = \frac{V}{d}} \qquad (۲-۸)$$

که در آن V اختلاف پتانسیل میان دو صفحه برحسب ولت و d فاصله دوصفحه برحسب متر و E شدت میدان برحسب $\frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$ است. با توجه به‌واحد شدت میدان الکتریکی که قبلاً تعریف شد خواهیم داشت.

$$1\frac{\text{ولت}}{\text{متر}} = 1\frac{\text{نیوتن}}{\text{کولن}} \qquad (۲-۹)$$

مثالـ بین دو صفحه مـوازی کـه به فاصله ۲/۰ سانتیمتر از یك‌دیگر قـرار دارنـد اختلاف پتانسیل ۱۰۰۰ ولت برقرار شده است.

الفـ شدت میدان الکتریکی بین‌دوصفحه را حساب‌کنید.

بـ اگر یك پروتون با بار مثبت: $1/602 \times 10^{-19}C$ بین این دو صفحه قرار گیرد چه نیروئی برآن وارد می‌شود؟

ـمقادیرداده‌شده‌عبارتنداز: $d = 0/020^{m}$ و $q = 1/602 \times 10^{-19}C$ و $V = 1000V$:

الف:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{1000^{V}}{0/020_{m}} = 50000\frac{V}{m} =$$

$$= 50000\frac{N}{C}$$

ب:

$$F = Eq = 50000\frac{V}{m} \times 1/602 \times 10^{-19}C$$

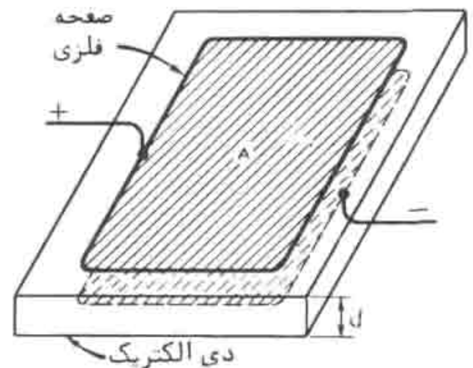
$$= 8/01 \times 10^{-15}N$$

۱ـ به بخش‌کار و انرژی کتاب فیزیك سال اول مراجعه‌کنید .

خازن

خازن اسباب الکتریکی است که برای ذخیره کردن یك مقدار الکتریسیته به‌کار می‌رود، به همان گونه که یك مخزن‌آب برای ذخیره کردن مقداری آب و یا یك کپسول گاز برای انباشتن مقداری گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خازن را می‌توان به‌شکلهای مختلف ساخت. متداولترین نوع آن خازن مسطح است. این نوع خازن از دو صفحه فلزی موازی که بین آنها عایقی به‌نام «دی‌الکتریك» قرار دارد تشکیل شده است و شکل (۲-۱۱) طرح ساده آن‌را نشان می‌دهد. این صفحه‌ها



شکل ۲-۱۱- طرح ساده‌ای از قسمتهای اصلی یك خازن.

سطح نسبتاً بزرگی دارند و خیلی نزدیك به‌هم قرار داده می‌شوند. دی‌الکتریکهای معمولی عبارتند از هوا، شیشه، میکا، روغن معدنی وکاغذ آغشته به روغن.

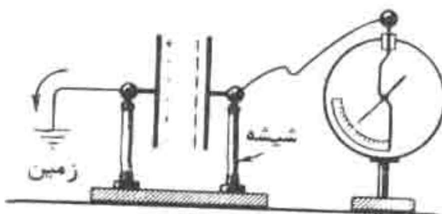
برای این‌که قابلیت خازن در ذخیره کردن مقدار الکتریسیته افزایش یابد به‌عبارت دیگر برای این‌که ظرفیت الکتریکی خازن زیاد شود می‌توان تغییرات زیر را درساختمان آن داد:

۱- سطح صفحه‌های فلزی‌را افزایش داد.

۲- فاصله صفحه‌ها راکم کرد.

۳- دی الکتریك مناسب بین صفحه‌ها قرار داد، مثلاً اگر صفحه‌های خازن کوچك و فاصله آنها از هم زیاد باشد ظرفیت الکتریکی خازن کم است برعکس اگر سطح این صفحه‌ها بزرگ وفاصله آنها از هم کم باشد ظرفیت خازن زیاد خواهد بود.

اساس کار خازن - اساس کار یك خازن در شکل (۲-۱۲) مجسم شده است: دوصفحه فلزی که روی پایه عایق نصب شده‌اند مقابل هم قرار دارند و خازنی را تشکیل می‌دهند. یکی از این دو صفحه به‌زمین وصل شده است و صفحه دیگر با یك رشته سیم به بسك الکتروسکپ یا یك الکترومتر متصل است. اگر به‌صفحه سمت‌راست، که ازلحاظ‌الکتریکی منفرد است، مقداری بار منفی بدهیم الکترونها از صفحه مقابل به طرف زمین رانده می‌شوند و این صفحه همان مقداربار مثبت پیدامی‌کند. اگربرعکس به صفحه سمت راست مقداری بار مثبت بدهیم (این کار در شکل نشان داده نشده است). الکترونها از زمین به طرف صفحه سمت چپ کشیده می‌شوند واین صفحه دارای بارمنفی‌می‌شود در هردوحالت، صفحه‌متصل به‌زمین، بنابه‌قرارداد،



شکل (۲-۱۲) طرح ساده‌ای از اصول‌کار یك خازن

دارای پتانسیل صفراست ولی‌صفحه منفرد در حالت اول دارای پتانسیل منفی و در حالت دوم دارای

پتانسیل مثبت است. دراین صورت می‌گوئیم خازن «پر» یا «شارژ» شده است. برای پرکردن یك خازن می‌توان مستقیماً دو صفحه آن را به‌دو قطب یك باتری وصل کرد. دراین صورت صفحه‌ای که به‌قطب مثبت باتری‌متصل‌می‌شوددارای بارمثبت وصفحه‌ای که به‌قطب منفی باتری وصل می گردد دارای‌بار منفی خواهد شد.

اگر دو صفحه خازن پرشده را با یك سیم به هم وصل کنیم الکترونها از صفحه‌ای که بار منفی دارد به‌صفحه‌دیگر که دارای بار مثبت‌است می‌روند. بنابراین بارهای الکتریکی مثبت و منفی یك‌دیگر را خنثی می‌کنند و خازن «تخلیه» یا «دشارژ» می‌شود. عمل تخلیه خازن معمولاً با جرقه و صدا همراه است.

در شکل (۲–۱۲) هرچه بیشتر الکترون به صفحه سمت راست داده شود اختلاف پتانسیل میان دو صفحه زیادتر می‌شود ولی بیشترین مقدار باری که می‌توان روی دوصفحه خازن ذخیره‌کرد بستگی به‌جنس عایق میان آنها دارد. اگر مقدار بار ازحد معینی بگذرد بین دو صفحه جرقه می‌زند و خازن خالی می‌شود.

پرسش ۲–۱۲– وقتی که یك خازن توسط دستگاه مولد الکتریسیته پرمی‌شود اختلاف‌پتانسیل میان دوصفحه آن ازچه حدی نمی‌تواند بیشترشود؟

ظرفیت‌خازن– ظرفیت یك خازن یا «کاپاسیتانس»[۱] که آن‌را به C نمایش‌می‌دهند بنابه‌تعریف عبارتست از خارج قسمت بار الکتریکی q ذخیره‌شده روی هریك از صفحات خازن براختلاف پتانسیل V میان دو صفحه آن. به‌عبارت دیگر ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحه‌های خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت‌به صفحه دیگر به‌اندازه یك ولت افزایش یابد.

بنابرتعریف بالا، خواهیم داشت:

$$C=\frac{q}{V} \qquad (۲–۱۰)$$

واحد ظرفیت به‌افتخار میشل فارادی، فاراد نامیده می‌شود و علامت اختصاری آن F است یك فاراد ظرفیت خازنی است که اگرروی هریك از صفحات آن بار الکتریکی معادل یك کولن ذخیره شود اختلاف پتانسیل میان دو صفحه آن یك ولت باشد:

$$۱F=\frac{۱C}{۱V} \qquad (۲–۱۱)$$

فاراد واحد بسیار بزرگی است و درکارهای عملی مورداستفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل معمولاً واحدهای زیر را به کار می‌برند.

میکروفاراد (μF) برابر $۱۰^{-۶}$ فاراد

نانوفاراد (nF) برابر $۱۰^{-۹}$ فاراد

پیکوفاراد (pF) برابر $۱۰^{-۱۲}$ فاراد

محاسبه ظرفیت خازن مسطح– ظرفیت‌خازن‌مسطح به‌طورکلی از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$C=\varepsilon\frac{A}{d} \qquad (۲–۱۲)$$

۱- Capacitance

که درآن A سطح مقابل هم هریك از دوصفحه خازن برحسب مترمربع، d فاصله بین دوصفحه برحسب متر (به‌شکل ۲-۱۱ مراجعه کنید)، C ظرفیت خازن برحسب فاراد و ε (حرف لاتینی با تلفظ اپسیلون) ضریب ثابتی است که بستگی به عایق بین دوصفحه دارد و درواقع قابلیت گذردهی دی الکتریك بین دو صفحه است. اندازه ε برابر است با حاصل ضرب قابلیت گذردهی خلاء (یعنی: $(\varepsilon_\circ = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \frac{C^۲}{N.m^۲})$ در یك مقدار ثابت K به‌نام «ثابت دی الکتریك[1]» که معرف نوع دی الکتریك است یعنی:

$$\varepsilon = \varepsilon_\circ K \qquad (۱۳-۲)$$

بنابراین:

$$\boxed{C = \varepsilon_\circ K \frac{A}{d}} \qquad (۱۴-۲)$$

برای خلاء (و تقریباً برای هوا) $K = ۱$ است بنابراین اگر بین صفحات یك خازن مسطح خلاء یا هوا باشد ظرفیت آن برابر است با:

$$C_\circ = \varepsilon_\circ \frac{A}{d} \qquad (۱۵-۲)$$

و از مقایسه این رابطه با رابطه (۲-۱۴) نتیجه می‌شود:

$$K = \frac{C}{C_\circ} \qquad (۱۶-۲)$$

چون C همواره بزرگتر از $C_\circ$ است، ثابت دی الکتریك همه دی الکتریك‌ها از یك بزرگتر است. درجدول ۲-۱ ثابت دی الکتریك چند جسم عایق برای مقایسه داده شده است:

نوع دی‌الکتریك	K	نوع دی‌الکتریك	K
خلاء	۱/۰۰۰۰	آب خالص	۸۱
هوا	۱/۰۰۰۶	بنزن	۲/۲۸
شیشه	۵ تا ۱۰	گلیسرین	۵۶
کائوچو	۳ تا ۳۵	روغن معدنی	۲/۲
میکا	۳ تا ۶		

مثال ـ دو ورقه نازك قلع به‌شکل مستطیل به‌ابعاد ۲۰ در ۲۵ سانتیمتر به‌دو طرف یك ورقه میکا به ضخامت ۰/۱۰ میلیمتر چسبانده‌شده ومجموعاً خازن مسطحی را تشکیل داده‌اند. ظرفیت این خازن را حساب کنید. ثابت دی الکتریك میکا ۵ است. داریم:

$$C = \varepsilon_\circ K \frac{A}{d} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} K \frac{A}{d}$$

به ازاء $A = ۰/۲۰ \times ۰/۲۵ = ۰/۰۵ m^۲$ و $d = ۱/۰ \times ۱۰^{-۴} m$ و $K = ۵$ خواهیم داشت:

$$C = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲} \times ۵ \times \frac{۰/۰۵}{۱/۰ \times ۱۰^{-۴}}$$
$$\simeq ۲/۲ \times ۱۰^{-۸} F = ۰/۰۲۲ \mu F$$

انرژی خازن پرشده ـ برای پرکردن یك خازن همواره مقداری انرژی مصرف می‌شود که در خازن پرشده ذخیره می گردد. وقتی که دوصفحه یك خازن بدون بار به‌دوقطب یك مولد متصل می‌شود الکترونها

۱ـ K را ضریب دی الکتریك نیز نامیده‌اند.

به تدریج از یک صفحه خازن به صفحه دیگر آن منتقل می‌گردند تا این‌که بار الکتریکی نهایی q در خازن ذخیره شود. در نتیجه اختلاف پتانسیل میان دوصفحه خازن‌که درآغاز صفر بود لحظه به لحظه افزایش می‌یابد تا به‌حدنهایی $V=\frac{q}{C}$ برسد.

چون اختلاف پتانسیل میان دوصفحه خازن‌متناسب با بار الکتریکی افزایش می‌یابد، مقدار متوسط‌آن برابر است با

$$\bar{V}=\frac{0+V}{2}=\frac{V}{2}=\frac{q}{2C}$$

می‌دانیم $\bar{V}$ بنابه تعریف مقدار انرژی است که برای انتقال واحد بار الکتریکی لازم است بنابراین‌انرژی کل‌لازم برای‌ذخیره‌شدن‌بارالکتریکی q درخازن برابر است با:

$$W=\bar{V}q=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

که با استفاده از رابطه $q=CV$ می‌توان آن‌را به صورت‌های زیر نیز نوشت:

$$W=\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}=\frac{1}{2}CV^2=\frac{1}{2}qV \qquad (2-17)$$

W برحسب ژول و q بر حسب‌کولن و C برحسب فاراد و V بر حسب ولت است. وقتی که خازن تخلیه می‌شود این انرژی آزاد می گردد.

به هم بستن خازنهاـ خازنها را ، بسته به نوع استفاده از آنها، می‌توان به دو طریق موازی و متوالی به‌هم متصل کرد.

الفـ به‌هم بستن موازیـ شکل (۲-۱۳) اتصال چند خازن به طور موازی را نشان می‌دهد.

در این حالت اختلاف پتانسیل بین دو صفحه همه خازنهایکی است ولی‌بارالکتریکی هرخازن‌متناسب با ظرفیت آن است یعنی:

$q_1=C_1V$ و $q_2=C_2V$ و $q_3=C_3V$ و ...

ولی بار الکتریکی کل q که توسط مولد به‌خازنها داده میشود برابر مجموع این بارهاست:

$$q=q_1+q_2+q_3+\dots$$

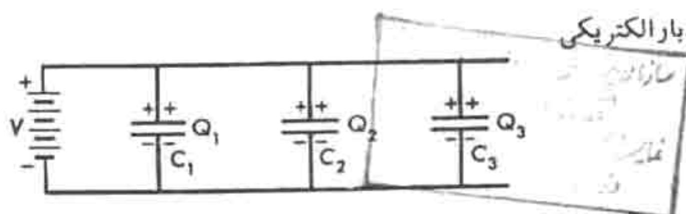
یا

$$q=C_1V+C_2V+C_3V+\dots$$

ویا

$$\frac{q}{V}=C_1+C_2+C_3+\dots$$

$C=\frac{q}{V}$ را می‌توان ظرفیت خازنی دانست‌که اگر



شکل ۲-۱۳- به هم بستن خازنها به طور موازی

به جای مجموعه خازنهای C_1 و C_2 و C_3 و... گذارده شود تحت اختلاف پتانسیل مشترک V بار الکتریکی کل q در آن ذخیره گردد. چنین خازنی را خازن معادل مجموعه گویند. بنابراین:

$$C=C_1+C_2+C_3+\dots \qquad (2-18)$$

یعنی وقتی که خازنها به‌طور موازی به‌هم متصل می‌شوند ظرفیت کل مجموعه برابر مجموع‌ظرفیت خازنها است.

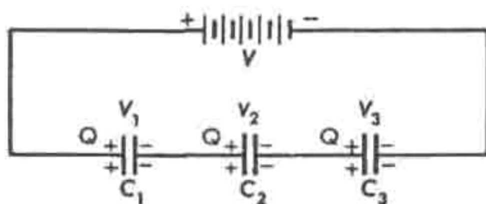
بـ به‌هم بستن متوالی (سری)ـ (شکل ۲-۱۴) طرز به‌هم بستن متوالی خازنها را نشان می‌دهد.

به‌طوری که در شکل دیده می‌شود تنها دو صفحه دو طرف مجموعه که مستقیماً به‌مولد بسته شده‌اند از مولد بار الکتریکی دریافت می‌کنند وصفحه‌های دیگر از طریق القاء دارای بار الکتریکی می‌شوند بنابراین اندازهٔ بار الکتریکی همه خازنها یکی است ولی اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه برابر حاصل جمع اختلاف پتانسیلهای دو سر خازنهاست یعنی:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

ولی

$$V_1 = \frac{q}{C_1} \text{ و } V_2 = \frac{q}{C_2} \text{ و } V_3 = \frac{q}{C_3} \text{ و } \dots$$



شکل ۳-۱۴- به‌هم بستن متوالی خازنها

پس
$$V = q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots\right)$$

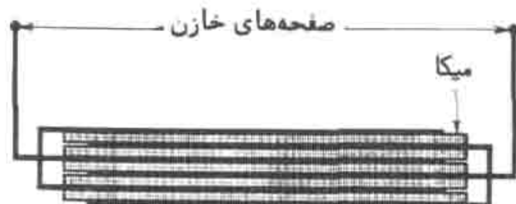
یا
$$\frac{V}{q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

اگر C ظرفیت خازن معادل مجموعه باشد (یعنی خازنی که تحت اختلاف پتانسیل کل V بارالکتریکی مشترك q در آن ذخیره شود) برای این خازن خواهیم داشت $q = CV$ و یا $\frac{V}{q} = \frac{1}{C}$ بنابراین

$$\boxed{\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots} \quad (19-2)$$

انواع خازن ـ خازنهائی که امروزه در صنعت الکترونیك به‌کار می‌روند بسته به‌مواردکاربردشان در جریانهای مستقیم یا متناوب، به انواع مختلف و به‌شکلهای گوناگون ساخته می‌شوند. در این جا فقط دو نمونه بسیار متداول را بیان می‌کنیم.

خازن باورقه‌های نازك ـ در این خازن دو نوار فلزی بسیار نازك، از جنس آلومینیوم یا قلع، به دو طرف یك نوارکاغذی آغشته به‌پارافین چسبانده شده است بنابراین دو نوار فلزی صفحه‌های هادی خازن و کاغذ آغشته به پارافین دی الکتریك آن را تشکیل می‌دهند این مجموعه را روی نوارکاغذی دیگری که‌آن هم آغشته به‌پارافین است قرار داده و می‌پیچند تا به شکل استوانه کوچکی درآید و در یك جعبهٔ کوچك می‌گذارند. این نوع خازنها که آنها را «خازنهای کاغذی» نیز می‌نامند درمدارهای



شکل ۳-۱۵- خازن با ورقه‌های نازك میکا

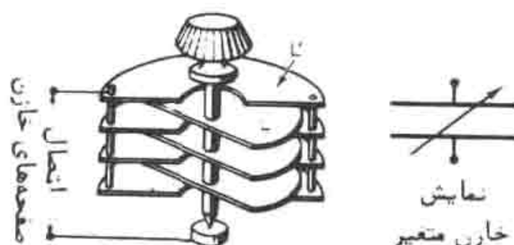
الکترونیکی‌رادیو، تلویزیون، دستگاه برق اتومبیل و... به‌کار برده می‌شوند.

در نوع دیگری از این خازنها به‌جای کاغذ از ورقه‌های کوچك ونازك میکا به‌جای دی‌الکتریك استفاده می‌شود به‌این ترتیب که صفحات نازك فلزی و ورقه‌های میکا را یك درمیان روی هم قرار می‌دهند. با n ورقه میکا و $n+1$ ورقه فلزی خازن

مرکبی از اجتماع n خازن مسطح به‌دست می‌آید که به‌طورموازی به‌هم بسته‌می‌شوند (شکل ۲–۱۵).

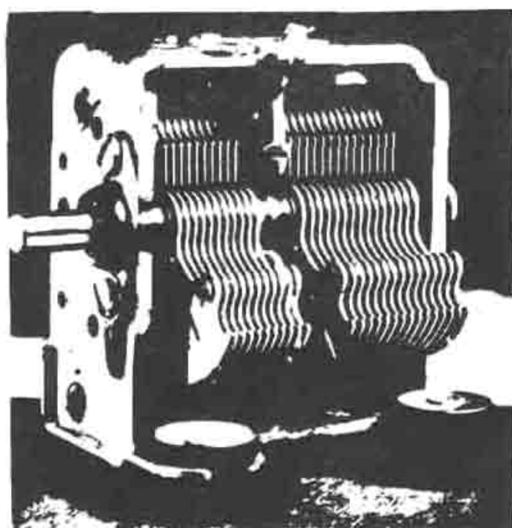
ظرفیت این نوع خازن را می‌توان به‌چند میکروفاراد رسانید. اگر دی الکتریک این نوع خازنها از ماده دی اکسید تیتانیوم[1] یا تیتانات‌باریم[2] که ضریب عایق خیلی بزرگی (در حدود ۱۲۰۰) دارند انتخاب شود می‌توان خازنهائی با ابعاد کوچك به ظرفیت چندین میکروفاراد ساخت.

خازنهای متغیر-ظرفیت این گونه خازن‌ها رامی‌توان به‌دلخواه ازصفر تا بیشترین مقدارآنها (که معمولاً ضعیف و در حدود نانوفاراد است) تغییر داد. این خازنها به‌سبب استحکام وسهولت کاربرد، دررادیو به‌کار می‌روند. با چرخاندن صفحات متحرکی که بین صفحات ثابت قرار دارند، سطح مؤثر صفحات خازن تغییر می‌کند و در نتیجه ظرفیت خازن تغییر می‌نماید. شکل (۲–۱۶) طرح ساده‌ای از این خازن و شکل (۲–۱۷) یك نمونه واقعی این خازن را نشان می‌دهد.



شکل ۲–۱۶- طرح ساده‌ای از خازن متغیر

L: صفحه متحرك L': صفحه ثابت



شکل ۲-۱۷- نمونه‌ای از خازن متغیر

به‌این پرسشها پاسخ دهید

۱) چگونه می‌توانید نشان دهیدکه نیروی بین دوبارالکتریکی نقطه‌ای متناسب با حاصل ضرب آنهاست؟

۲) با چه آزمایشی می‌توان نشان داد که نیروی جاذبه یا دافعه بین دو بار الکتریکی به نسبت‌عکس مجذور فاصله‌آنها تغییر می‌کند؟ شرح دهید.

۳) سه بارالکتریکی نقطه‌ای q_1 و q_2 و q_3 به فاصله‌های مساوی از یکدیگر بریك‌خط


۱- TiO_2


۲- $BaTiO_3$

راست قرار دارند. اندازه‌بارهای q_2 و q_3 برابرولی نوع آنها مخالف است. بار q_1 نسبت به q_2 یا q_3 چه اندازه باید باشد تا برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 صفر شود؟ در این صورت q_1 با کدام یك از بارهای q_2 و q_3 هم نوع است؟

۴) میدان الکتریکی را تعریف کنید. جهت میدان الکتریکی در هرنقطه از میدان چگونه است؟ خطوط نیرو در یك میدان الکتریکی معرف چه واقعیت‌هایی هستند؟

۵) ـ توضیح دهید چگونه با آزمایش می‌توان اندازه و جهت میدان الکتریکی را دریك نقطه از فضا معین کرد؟

۶) ـ تعریف اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دونقطه چیست.

۷) ـ آیا اختلاف پتانسیل بین دو نقطه بستگی به اندازه بار الکتریکی که از یك نقطه به نقطه دیگر انتقال می‌یابد دارد؟

۸) الکترون ـ ولت واحد کدام یك از کمیت‌های زیر است؟

بار الکتریکی، اختلاف پتانسیل، کار، شدت میدان الکتریکی.

۹) ـ شدت میدان الکتریکی را تعریف کنید. چرا در اطراف یك بار الکتریکی واقع در یك نقطه، شدت میدان الکتریکی ثابت نیست؟ میدان یکنواخت را چگونه می‌توان به وجود آورد؟

۱۰) ـ در شکل (۲ـ۱۲) انحراف عقربه الکترومتر تابع بار الکتریکی q است و طبق رابطه $q=CV$ تابع اختلاف پتانسیل V نیز هست. آیا می‌توان الکترومتر را برحسب ولت مدرج کرد وآن را به‌عنوان ولت سنج بکار برد؟

۱۱) ـ در شکل (۲ـ۱۲) اگر دو صفحه خازن را به هم نزدیك کنیم انحراف عقربه الکترومتر کمتر و اگرآنها رااز هم دورکنیم انحراف‌عقربه بیشترمی‌شود. علت را توضیح دهید.

۱۲) ـ ظرفیت خازن معادل در هریك از حالات زیر چیست؟

الف ـ هرگاه n خازن‌یکسان راکه‌ظرفیت‌هریك C_1 است‌به طور متوالی به‌هم متصل کنیم

ب ـ هرگاه n خازن یکسان‌راکه ظرفیت هریك C_1 است به‌طورموازی به‌هم ببندیم

پ ـ هرگاه $N=pn$ خازن یکسان را که ظرفیت هریك C_1 است در p رشته موازی هررشته شامل n خازن متوالی به‌هم وصل کنیم.

۱۳) ـ اگر بدون این‌که بار الکتریکی یك خازن تغییر کند دو صفحه‌آن‌را ازهم دورکنیم چه‌تغییری در انرژی آن حاصل می‌شود؟ علت این تغییر انرژی را بیان کنید.

۱۴) ـ دو صفحه خازنی که بین آنها هواست به‌دوقطب یك باتری متصل وخازن پرشده است. بدون این‌که خازن را از باتری جدا کنیم یك دی الکتریك شیشه بین دو صفحه آن‌قرار می‌دهیم از کمیت‌های زیرکدامشان تغییر می‌کنند و تغییرآنها چگونه است؟

اختلاف پتانسیل بین دو صفحه، بار الکتریکی خازن، ظرفیت خازن، انرژی خازن

۱۵) ـ تعدادی خازن در اختیار داریم. اگر بخواهیم با اختلاف پتانسیل ثابت بار الکتریکی بیشتری داشته باشیم خازنها را چگونه باید بهم ببندیم.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هر یک برابر 10^{-4} کولن، به فاصلهٔ دومتر ازیکدیگر قرار دارند. نیروی بین آنها چندنیوتن است؟

۲) اندازه و نوع نیروی بین یك بار منفی ۵ میکروکولنی و یك بار مثبت ۲ میکروکولنی را که به فاصلهٔ ۹ سانتیمتر از یکدیگر قرار دارند تعیین کنید.

۳) طبق مدل اتمی بور اتم ئیدروژن از یك پروتون و یك الکترون تشکیل یافته است که فاصلهٔ آنها ازیکدیگر $5/3 \times 10^{-11}m$ است. اگر بار الکتریکی یك الکترون و یا یك پروتون را معادل $1/6 \times 10^{-19}C$ بگیریم چه نیرویی الکترون و پروتون را در اتم ئیدروژن به هم پیوند می‌دهد؟

۴) ـ در آزمایشهای بسیار جالبی که توسط رادرفورد به‌منظور اثبات وجود هسته در اتم انجام گرفت، او ورقه نازکی از طلا را توسط یك دسته ذرات آلفا، حاصل از یك ماده رادیواکتیو بمباران کرد. پراکنده شدن ذرات آلفا به‌اطراف توسط ورقه طلا این فکر را در رادرفورد تقویت کرد که اتم طلا دارای هسته سنگین است که بار مثبت دارد و بارهای منفی موجود در اتم، همه خارج از هسته قرار دارند. هر ذرهٔ آلفا (که هسته هلیوم است) دارای بار الکتریکی $+2e$ $(e = 1/602 \times 10^{-19}C)$ وهسته هر اتم‌طلا دارای بار الکتریکی $+79e$ است. نیروی دافعه کولنی را وقتی که ذره‌آلفا بـه فاصله 10^{-14} متری هسته اتم طلا می‌رسد حساب کنید.

جواب: تقریباً $360N$

۵) دوبار همنام‌وقتی که‌به‌فاصلهٔ d ازیکدیگر واقع‌شوندنیروی‌معین F به هم واردمی‌کنند.
الف ـ اگر فاصلهٔ دوبار را نصف، دوبرابر یاسه برابر کنیم F به‌چه‌نسبتی‌تغییرخواهدکرد؟
ب ـ اگردرفاصلهٔ ثابت d اندازهٔ یکی از بارهای الکتریکی‌را نصف یا دوبرابر یا سه‌برابر کنیم F به چه نسبتی‌تغییرمی‌کند؟

۶) بار مثبت آزمون را روی خط واصل بین دوکرهٔ فلزی‌کوچك‌که بار الکتریکی مثبت و برابر دارند طوری قرار می‌دهیم‌که فاصلهٔ آن از یکی ازکره‌ها $\frac{1}{4}$ فاصلهٔ بین دوکـره باشـد. اگر نیروی وارد از طرف‌کرهٔ نزدیکتر به بار آزمون F باشـد نیروی وارد بر آن از طـرف‌کرهٔ دورتر چیست؟ اندازه و جهت برایند نیروهای وارد بر بار آزمون را مشخص‌کنید.

۷) درسه رأس A وB وC یك مثلث متساوی‌الاضلاع که طول هرضلع آن ۱۰ سانتیمتر است سه بارالکتریکی نقطه‌ای که اندازه‌آنها به‌ترتیب $+10^{-7}C$ و $+10^{-7}C$ و $-10^{-7}C$ است قرار گرفته‌اند، مطلوبست نیروهای الکتریکی که برهریك‌ازاین بارها وارد می‌شود.

۸) بار مثبت $8/0 \times 10^{-7}$ کولنی وقتی در نقطه‌ای ازیك میدان الکتریکی قرار گیرد نیرویی برابر $0/04N$ بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی‌را در این نقطه حساب‌کنید.

۹) شدت میدان الکتریکی در یك میدان یکنواخت (یعنی میدانی که شدت‌آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم جهت است) برابر $1000\frac{N}{C}$ است. اندازهٔ نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی‌که در این میدان قرار می‌گیرد حساب‌کنید. بار الکتریکی الکترون را $1/6 \times 10^{-19}C$ بگیرید.

۱۰) دوبار الکتریکی نقطه‌ای همنوع ۱+ و ۴+ میکروکولن (یا ۱− و ۴− میکروکولن) در دو نقطه A و B به فاصله ۸ سانتیمتر از یکدیگر قرار داده شده‌اند. جای نقطه‌ای را روی خط AB پیدا کنید که شدت میدان الکتریکی‌در آن نقطه صفر باشد.

جواب: درفاصله $\frac{8}{3}$ سانتیمتر از بار ۱ میکروکولنی و در فاصله $\frac{16}{3}$ سانتیمتر از بار ۴ میکروکولنی.

۱۱) بار الکتریکی معادل $-4/5 \times 10^{-7}$ کولن از یك نقطه به سطح یك کره فلزی کوچك که روی پایه عایقی قرار دارد منتقل شده و در این انتقال $1/8 \times 10^{-4}$ ژول کار انجام‌گرفته است. پتانسیل سطح کره فلزی را حساب‌کنید.

جواب: $-4/0 \times 10^{2}\ V$

۱۲)- بین دوصفحه رسانای موازی‌که فاصله آنها از یك‌دیگر ۳ سانتیمتر است اختلاف پتانسیل ۶۰۰۰ ولت برقرار شده‌است. یك قطره‌کوچك روغن با بار الکتریکی $9/6 \times 10^{-19}$ کولن درفضای بین این دو صفحه درحال سقوط است. (به‌شکل ۲ـ ۶ مراجعه‌کنید)

الف- شدت میدان الکتریکی بین دوصفحه را حساب‌کنید.

ب- چه نیرویی در این میدان بر قطره روغن باردار وارد می‌شود؟

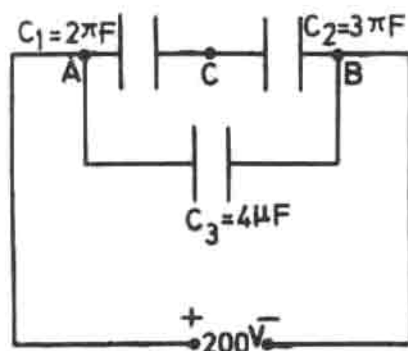
جواب: الف) $2 \times 10^{5}\frac{V}{m}$ ب) $1/92 \times 10^{-13}N$

۱۳) یك تعمیر کار دستگاههـای الکترونیك، سه خـازن $C_1 = ۴\mu F$ و $C_2 = ۶\mu F$ و $C_3 = ۱۲\mu F$ در اختیار دارد. این تعمیر کار با سه خازن خود چه ظرفیت‌هایی مـی‌تواند بدست آورد؟

۱۴) سه خـازن $C_1 = ۲\mu F$ و $C_2 = ۳\mu F$ و $C_3 = ۴\mu F$ مطابق شکل (۲ـ۱۸) به هم بسته شده‌اند. اگـر اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B بـرابر ۲۰۰ ولت بـاشد اختلاف پتانسیل بین دونقطه A و C چه اندازه‌است؟

بار الکتریکی هـر خازن و ظرفیت معادل مجموعه را حساب کنید. انرژی کل مجموعه در وقت پربودن چه اندازه است؟

جـواب : ۱۲۰ ولـت و ۲۴۰ و ۲۴۰ و ۸۰۰ میکـرو کـولن ، ۵/۲ میکـرو فـاراد ، ۰/۱۰۴ ژول



شکل (۲-۱۸)

۱۵) مطلوبست اندازه سطح مقابل هم هریك ازدوصفحه خازنی به ظرفیت ۲ میکروفاراد که دی الکتریك آن کاغذآغشته به پارافین به ضخامت ۰/۱ میلیمتر و با ثابت دی الکتریك ۲/۲ است .

جواب : تقریباً ۱۰/۳ متر مربع

۱۶) ظرفیت خازنی که‌دی‌الکتریك آن هواست ۱۰۰۰ پیکوفاراد و بار الکتریکی هر یك ازصفحات آن ۱ میکروکولن است.

الف- اختلاف پتانسیل میان دوصفحه آن را حساب‌کنید.

بـ- اگر بار الکتریکی ثابت نگاهداشته شود ولی فاصله بین دو صفحه دو بـرابـر شود اختلاف پتانسیل میان دوصفحه چه اندازه خواهد شد.

پ: برای دوبرابر کردن فاصلهٔ دوصفحه خازن چه مقدار کار لازمست؟

جواب: الف- ۱۰۰۰V و بـ- ۲۰۰۰V ، پـ- $۵ \times ۱۰^{-۴} J$

پاسخ به پرسشهای متن بخش ۲

۲-۱) چهار برابر

۲-۲) نه! نیروی بین‌دوجسم‌بزرگ باردارراکه خیلی‌به هم‌نزدیک‌هستند می‌توان‌حاصل جمع برداری نیروهایی دانست‌که هر یك از بارهای نقطه‌ای منفرد جسم اول بر همهٔ بارهای نقطه‌ای منفرد جسم دوم وارد می‌سازد. محاسبهٔ این نیروها از سطح‌کار این‌کلاس خارج است‌و شما در تعقیب درس فیزیك وقتی‌که با ریاضیات عالی‌تری‌آشنا شدید می‌توانید آنها را حساب کنید.

۲-۳) - نه. تساوی این‌نیروهامستلزم یکی‌بودن بار الکتریکی دوجسم نیست وبه‌شکل دو جسم هم‌بستگی ندارد وفقط براساس اصل عمل وعکس‌العمل توجیه می‌شود.

۲-۴) بار مثبت آزمون اگر در میدان الکتریکی حاصل ازجسمی‌که بار مثبت داردواقع شود در راستای خطوط نیرو از آن دور می‌شود و اگر در میدان حاصل از جسمی‌که بار منفی دارد قرارگیرد در راستای خطوط نیرو به آن نزدیك می گـردد (به شکلهای ۲-۱۳ و ۲-۱۴ مراجعه‌کنید).

۲-۵) در رابطهٔ $F=k\frac{q\,q'}{r^2}$ اگر $q'=1$ باشد داریم : $F=k\frac{q\times 1}{r^2}$

و این نیرویی است‌که در میدان حاصل از بار الکتریکی q برروی واحد بار الکتریکی وارد می‌شود و بنا به تعریف برابر است با شدت میدان الکتریکی در نقطه‌ای به فـاصلهٔ r از بار الکتریکی qکه به E نمایش داده می‌شود. بنابراین: $E=k\frac{q}{r^2}$

اگر به جای بار الکتریکی واحد، بار الکتریکی q'در آن نقطه قرار داده شود نیرویی که بر آن وارد می‌شود برابر خواهد بود با:

$$F=k\frac{q}{r^2}\cdot q'=E\cdot q'$$

یا

$$E=\frac{F}{q'}$$

۲-۶) داریم:

$$E=\frac{F}{q'}$$

یا

$$F=E\cdot q'=2\times 10^4\times\left(\frac{-1}{2}\times 10^{-5}\right)=-0{,}1N$$

این‌نتیجه رامی‌توان از راه استدلال نیز به‌دست آورد.

۲-۷)- نه. جهت‌جریان همواره ازپتانسیل بیشتر به‌طرف پتانسیل‌کمتراست، همچنان که گرما از جسمی‌که دمای آن بیشتر است به‌طرف جسمی‌که دمای آن‌کمتر است‌می‌رود، وآب‌از سطح تراز بالاتر به‌طرف سطح تراز پایین‌تر می‌رود ویا ملکولهای‌گاز از ظرفی‌که فشار‌گاز در آن بیشتر است به‌ظرف دیگری‌که فشار‌گاز درآن‌کمتر است می‌رود.

۲–۸) نه ، پتانسیل نقاط مختلف سطح یك جسم رسانای باردار بستگی به چگالی سطحی بار الکتریکی ندارد و در همه نقاط سطح آن به یك اندازه است . برای آزمون این واقعیت کافی است یك سر سیم روپوش داری را بـه کلاهك الکتروسکـوپ متصل کرده و سر دیگر سیم را روی سطح جسم رسانای باردارجابجا کنیم، مشاهده می‌شود که اندازه انحراف ورقه‌الکتروسکوپ تغییر نمی‌کند. سطوحی راکه پتانسیل همه نقاط آنها به یك اندازه است سطوح هم پتانسیل گویند.

۲–۹) ـ اگر جسم از ابتدا دارای بار مثبت Q باشد کاری که برای انتقال بار مثبت q، به‌صورت $w=vq$ انجام می‌شود به‌صورت انرژی پتانسیل درجسم ذخیره می گردد وپتانسیل v مثبت است. ولـی اگر جسم دارای بار منفی Q باشد، ضمن انتقال بار مثبت q اززمین به جسم، انرژی آزاد می‌شود وپتانسیل v منفی است.

۲–۱۰) درانتقال بار $+q$ از $v_۲$ به $v_۱$ انرژی به‌اندازه vq آزاد می‌شود ولی برعکس، در انتقال بار $+q$ از $v_۱$ به $v_۲$ همین مقدار انرژی باید مصرف شود.

۲–۱۱) این کار برابر است با:

$$W = Ve = ۱V \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}C = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}J$$

که آن را یك «الکترون ـ ولت» نیز می گویند . الکترون ـ ولت واحد سنجش انرژی ذرات در فیزیك اتمی و هسته‌ای است .

۲–۱۲) از نیروی محرکه مولد

۳

جریان الکتریسیته

در بخش ۲ دیدید هرگاه دوکرهٔ رسانای باردار راکه روی پایه‌های نارسانا قرار دارند و یکی دارای بار منفی و دیگری دارای بار مثبت (به مقدار مساوی) است با یک رشته سیم به هم وصل کنیم الکترونها ازکره‌ای‌که بار منفی دارد به طرف‌کرهٔ دیگرکه بار مثبت دارد می‌روند. این عمل در یك‌زمان خیلی‌کوتاه انجام می‌شود و اختلاف‌پتانسیل بین دوکره (یعنی عاملی‌که سبب انتقال الکترونها از یك‌کره به‌کرهٔ دیگر می‌شود) به صفر می‌گراید.

اینك فرض‌کنید وسیله‌ای پیدا شودکه به جای هر الکترون‌که ازکرهٔ اول به‌کرهٔ دوم می‌رود یك الکترون را دوباره از راه دیگر از کرهٔ دوم به اول برگرداند. اگر چنین‌کاری انجام شود اندازهٔ بارهای منفی ومثبت روی دوکره تغییر نمی‌کند و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین دوکره ثابت می‌ماند و جریان الکتریکی پیوسته‌ای در یك جهت برقرار می‌شود. بنابراین برای این‌که جریان الکتریکی پیوسته‌ای در یك رشته سیم برقرار شود وسیله‌ای لازم است‌که‌بتواند اختلاف پتانسیل بین دو سر سیم را ثابت نگه دارد. پیلهای شیمیایی و ژنراتورهای الکتریکی (مانند دیناموها) از جملهٔ این وسیله‌ها هستند ژنراتورهای الکتریکی را بعدها خواهید آموخت. در اینجا نخست با بعضی از پیلهای شیمیایی و طرزکار آنها آشنا می‌شوید، سپس دربارهٔ جریان الکتریسیته و اثرهای آن مطالب بیشتری می‌آموزید.

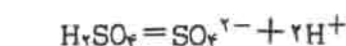
پیلهای شیمیایی

پیل‌شیمیایی، چنان‌که از نامش پیداست، انرژی حاصل از یك‌واکنش شیمیایی را به انرژی‌الکتریکی تبدیل می‌کند و نوع سادهٔ آن از دو میله یا دو تیغهٔ غیر همجنس رسانا تشکیل یافته است‌که در محلولی از اسید یا باز و یا نمك به نام الکترولیت

فرو برده شده‌اند ساده‌ترین نوع آن **پیل ولتاست.** این پیل نخستین بار توسط ولتا فیزیکدان ایتالیایی اختراع شده و پس از تکمیل به صورت دو میله یا دو تیغهٔ مس و روی در آمده است که در محلول رقیقی از اسید سولفوریك درون یك ظرف شیشه‌ای فرو برده شده‌اند.

طرز کار یك پیل ساده

گفتیم برای ساختن یك پیل ساده دو تیغهٔ رسانای غیرهمجنس را درون محلولی از اسید یا باز یا نمك قرار می‌دهند. ولی وقتی گفتگو از یك پیل ساده می‌شود، معمولا پیل ولتا را در نظر می‌گیرند یعنی پیلی که از دو تیغهٔ مس و روی که درون محلول رقیق اسید سولفوریك قرار دارند درست شده است (شکل ۳-۱). وقتی که دو تیغهٔ مس و روی با یك رشته سیم به هم متصل می‌شوند، حل شدن تیغهٔ روی در محلول اسید سولفوریك به آرامی آغاز می‌گردد و اطراف تیغهٔ مس نیز حبابهای ریز ئیدروژن تشکیل می‌شود. همزمان با این عمل، جریان الکترونها درسیم از روی به طرف مس برقرار می‌شود. این پدیده را می‌توان چنین توجیه کرد: مولکول اسید سولفوریك دارای فرمول شیمیایی H_2SO_4 است. هنگامی که این اسید در آب ریخته می‌شود، در عده‌ای از مولکولها، گروه اتمهای (بنیان) SO_4 از دو اتم ئیدروژن (H_2) جدا می‌گردد و در این عمل دو الکترون از دو اتم ئیدروژن (از هر اتم یك الکترون) می‌گیرد. بنابراین اتمهای ئیدروژن دارای بار الکتریکی مثبت و بنیان SO_4 دارای بار الکتریکی منفی می‌شوند، به عبارت دیگر به صورت یون در می‌آیند. به یون تبدیل شدن مولکول اسید سولفوریك را می‌توان چنین نمایش داد:



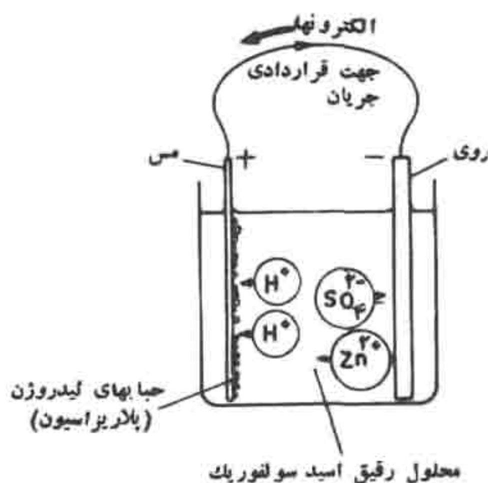
$$H_2SO_4 = SO_4^{2-} + 2H^+$$

از طرف دیگر، ضمن حل شدن تیغهٔ روی در محلول اسید، اتمهای روی به صورت یونهای Zn^{2+} وارد محلول می‌شوند. بنابراین هر یك از اتمهای روی به هنگام جدا شدن از تیغه، دو الکترون از خود در آن به جای می‌گذارد و همین الکترونهای به جای مانده، منبع جریان الکترون از تیغهٔ روی به سوی تیغهٔ مس در سیم هستند.

پرسش ۳-۱- به نظر شما یونهای آزاد Zn^{2+} و SO_4^{2-} در محلول اسید چه می‌شوند؟

همزمان با ورود یونهای روی به محلول اسید، **یونهای ئیدروژن نیز به تعداد هم‌ارز یونهای روی** به سوی تیغهٔ مس می‌روند و بر سطح آن جمع می‌شوند و پس از گرفتن الکترون از تیغهٔ مس به صورت اتمهای خنثی در آمده و به شکل حبابهای ریز ئیدروژن اطراف تیغه را فرا می‌گیرند.

تیغهٔ مس که به این طریق الکترون از دست می‌دهد بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند و آمادهٔ



شکل ۳-۱- طرز کار یك پیل ساده

جذب الکترونهای آزاد تیغهٔ روی از راه سیم رابط بین دو تیغه می گردد.

تیغهٔ مس را که دارای بار مثبت است قطب مثبت (یا الکترود[1] مثبت) و تیغهٔ روی را که دارای بار منفی است قطب منفی (یا الکترود منفی) می نامند. حرکت الکترونها در سیم همان چیزی است که جریان الکتریسیته یا جریان برق نامیده می‌شود و چنان که می‌دانید مسیر کاملی که جریان برق طی می کند مدار الکتریکی نام دارد.

سوی قراردادی جریان برق

در سال ۱۸۰۰ میلادی که نخستین پیل ساده توسط ولتا اختراع شد طرز کار آن را بدین سان که شرح دادیم نمی‌دانستند و دانشمندان آن زمان راهی برای پیدا کردن جهت واقعی جریان برق نمی‌شناختند به همین جهت سوی جریان الکتریسیتهٔ مثبت را در سیم از قطب مثبت (تیغهٔ مس) به طرف قطب منفی (تیغهٔ روی) در نظر گرفتند. ولی چنان که گفتیم، جریان الکتریسیته در واقع عبور الکترونهای منفی از تیغهٔ روی به تیغهٔ مس است. چون انتخاب سوی جریان تأثیری در قانونهای الکتریسیته و کاربرد آنها ندارد بگذارید ما هم همان جهت قراردادی سابق را در نظر بگیریم.

نیروی محرکهٔ پیلـ هر اسباب مولد الکتریسیته مانند پیل یا دینامو را که بتواند در یک مدار، جریان برق برقرار سازد می گویند دارای نیروی محرکه (یا نیروی الکترو موتوری) است. نیروی محرکه مانند اختلاف پتانسیل با واحد ولت[2] (که با آن آشنایی دارید) سنجیده می‌شود و در صفحه‌های بعد به طور دقیق تعریف خواهد شد. در اینجا نیروی محرکهٔ پیل را چنین تعریف می کنیم:

نیروی محرکهٔ یک پیل برابر اختلاف پتانسیل بین دو قطب آن است وقتی که هیچ جریانی از آن گرفته نشود یعنی مدار آن باز باشد.

در عمل، برای تعیین نیروی محرکهٔ یک پیل کافی است دو سر یک «ولت‌سنج»[3] را با دو رشته سیم به دو قطب پیل اتصال دهیم و اختلاف پتانسیل میان دو قطب را اندازه بگیریم. آنچه که در این حالت ولت‌سنج نشان می‌دهد تقریباً برابر نیروی محرکهٔ مولد است.

عیبهای یک پیل ساده

الف- پلاریزاسیونـ هنگام استفاده از یک پیل سادهٔ ولتا مشاهده می‌شود که جریان در مدار به سرعت کاهش می‌یابد و اندازهٔ آن خیلی کم می‌شود. علت این است که لایه‌ای از حبابهای ئیدروژن اطراف تیغهٔ مس را فرا می گیرد و به اصطلاح پیل پلاریزه می‌شود.

لایهٔ ئیدروژن به دو علت جریان را کم می کند: یکی آن که سبب کاهش نیروی محرکه پیل می‌شود.

پرسش ۳-۲ـ به نظر شما چرا با تشکیل لایهٔ ئیدروژن برسطح تیغهٔ مس نیروی محرکهٔ پیل کاهش می یابد؟

دیگر آن که گاز ئیدروژن مانند گازهای دیگر نارساناست و لایهٔ نارسانایی که از این گاز در اطراف تیغهٔ مس تشکیل می‌شود مانع عبور الکترونها

1- Electrode   2- Volt

۳ - اساس کار ولت‌سنج را درصفحه‌های بعد خواهید آموخت.

(یعنی جریان برق) می گردد.

پرسش ۳-۳- چه راهی برای از بین بردن حبابهای ئیدروژن پیشنهاد می کنید ؟

ب- اثر موضعی- اگر تیغهٔ رویی که در ساختن پیل ساده به کار می رود از نوع روی تجارتی و ناخالص باشد، هنگام استفاده از پیل، در سطح تیغهٔ روی نیز حبابهای ئیدروژن تشکیل می شود. تشکیل حبابهای ئیدروژن برسطح تیغهٔ روی، یك اثر موضعی است که نباید آن را با پلاریزاسیون (نامی که به تشکیل حبابهای ئیدروژن برسطح تیغهٔ مس داده شده است) اشتباه کرد. وجود ذرات ناخالصی، مانند آهن یا کربن در روی سبب می شود که پیلهای بسیار کوچك موضعی در سطح تیغهٔ روی ایجاد شود و حبابهای ئیدروژنی که برسطح این تیغه دیده می شود حاصل از همین پیلهای کوچك موضعی است. این اثر موجب حل شدن تدریجی تیغهٔ روی در اسید و از بین رفتن آن می شود. خوشبختانه این عیب را می توان به آسانی بر طرف کرد: کافی است که تیغهٔ روی را در محلول اسید سولفوریك بشویند و با یك تکهٔ کوچك پنبه یك قطره جیوه را بر تمام سطح تیغه بمالند. در نتیجه پوششی از ملغمهٔ روی برسطح تیغه تشکیل می شود که مانع تماس ناخالصیها با اسید می گردد.

پیل لکلانشه

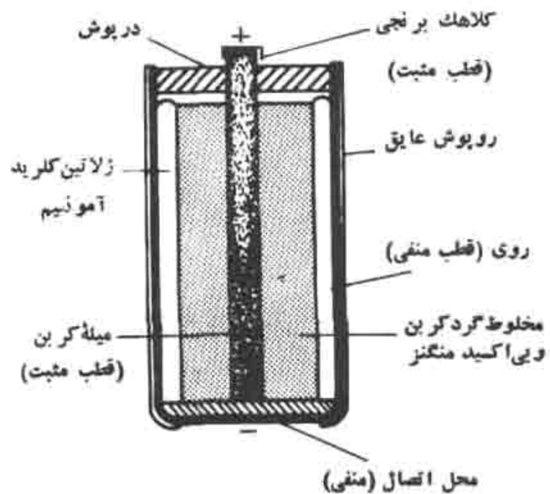
الکترولیت این پیل به جای اسید سولفوریك رقیق، محلول کلرید آمونیم (نشادر) و الکترودهای آن یك میله کربن و یك تیغه روی است. برای جلوگیری از پلاریزاسیون پیل، میله کربن را درون یك کیسه پارچه‌ای کوچك یا یك ظرف استوانه‌ای شکل سفالین که محتوی گرد بی‌اکسید منگنز و کربن است می گذارند. میلهٔ کربن قطب مثبت و تیغهٔ روی قطب منفی این پیل را تشکیل می‌دهد. نخستین نمونهٔ این پیل درسال ۱۸۶۵ میلادی توسط لکلانشه[۱] دانشمند فرانسوی اختراع شده است.

پرسش ۳-۴- بی‌اکسید منگنز چه اثری بر **حبابهای گاز ئیدروژن که اطراف میلهٔ کربن جمع** می‌شوند دارد؟

پیل خشك- پیلهایی که در چراغ قوه‌های دستی یا رادیوهای کوچك باتری‌دار مورد استفاده قرار می گیرند پیل خشك نامیده می‌شوند. این پیلها از نوع پیل لکلانشه هستند با این تفاوت که در آنها به جای محلول نشادر، از خمیری متشکل از نشادر و یك مادهٔ ژلاتینی بی اثر استفاده می‌شود. ظرف محتوی این خمیر از روی ساخته می‌شود که خود قطب منفی پیل را تشکیل می‌دهد. قطب مثبت آن میله‌ای از جنس کربن است که برای جلوگیری از پلاریزاسیون پیل، اطراف آن را با گرد فشرده‌ای از مخلوط بی‌اکسید منگنز و کربن می‌پوشانند (شکل ۳-۲). برای جلوگیری از خشك شدن خمیر، قسمت بالای پیل را با یك ورقهٔ فیبر توسط قیر یا چیز دیگر کاملا مسدود می کنند. پیل خشك اگر مورد استفاده هم واقع نشود به علت اثر موضعی که نمی‌توان از آن کاملا جلوگیری کرد کم کم خراب می‌شود. ولی اگر آن را در جای سرد نگاه دارند ممکن است چند ماه و حتی نوع مرغوب آن چند سال سالم و قابل استفاده بماند.

۱- Georges Leclanché

نیروی محرکهٔ هر پیل خشک ۱/۵ ولت است. معمولا درعمل برای این که نیروی محرکهٔ بیشتری به دست آورند چندتای آنها را به هم می‌بندند و مجموع آنها را باتری می‌نامند.



شکل ۳-۲- پیل خشک

انباره یا اکومولاتور

پیلهایی که از آنها نام بردیم تا مدت معینی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بعد باید آنها رادور انداخت زیرا در این پیلها جریان الکتریسیته دراثر واکنشهای شیمیایی یک‌طرفه‌ای تولید می‌شودکه پس از مصرف شدن تیغهٔ روی، نمی‌توان با عبور دادن جریان در خلاف جهت، پیل را به صورت اولیهٔ خود برگرداند. ولی‌مولدهای شیمیایی‌دیگری ساخته شده است‌که پس از مصرف، می‌توان باعبور دادن جریان حاصل از دینامو یا مولد دیگر، آنها را دوباره به صورت اول برگرداند. این نوع مولدهای شیمیایی را انباره یا آکومولاتور نامیده‌اند و دو نمونهٔ مهم ازاین دسته مولدها عبارتند از: انبارهٔ سربی و باتری قلیایی نیکل ـ کادمیم .

یکی از مزایای انباره‌ها این است‌که مقاومت درونی آنها در برابر عبور جریان الکتریسیته‌خیلی کم است. در نتیجه می‌توان از آنها جریان زیادی گرفت بدون این‌که اختلاف پتانسیل میان دوقطب آنهاکاهش محسوسی پیداکند (این مطلب را در صفحات بعد با بیان دقیق‌تری خواهید دید).

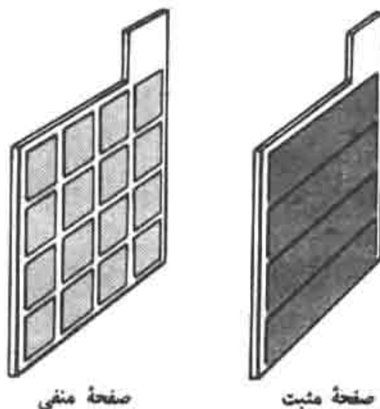
الف- انبارهٔ سربی- باتریهای اتومبیل از نوع انبارهٔ سربی هستند. قطبهای این نوع انباره از صفحه‌های مشبکی ساخته می‌شود که جنس آنها آلیاژ سرب و انتیموان است. درون حفره‌های این صفحه‌ها را از مواد زیر با فشار پرمی‌کنند:

صفحه‌های قطب مثبت را با خمیر Pb_3O_4 (به نام صنعتی سرنج)

صفحه‌های قطب منفی را با خمیر PbO (به نام صنعتی لیتارژ)

و صفحه‌ها درون ظرفی محتوی اسیدسولفوریک قرار داده می‌شوند. شکل ۳-۳ نمونه‌ای از این صفحه‌ها را نشان می‌دهد.

انباره‌های سربی را باید ابتدا پرکرد یعنی



شکل ۳-۳-صفحه‌های انبارهٔ سربی

از آنها در مدت لازم جریان برق ثابتی عبورداد. وقتی‌که یك انباره سربی برای بار اول پر می‌شود صفحه‌های قطب‌مثبت و منفی آن به ترتیب تبدیل به‌بی‌اکسیدسرب (PbO_2) و سرب (Pb)می‌گردند. ظرفیت الکتریکی انباره را با واحد آمپر ساعت با علامت اختصاری Ah مشخص می‌کنند و چنان‌که می‌دانید آمپر واحد شدت جریان برق است. مثلا انباره‌ای‌که ظرفیت‌الکتریکی‌آن ۸۰ آمپرساعت‌است می‌تواندجریانی‌به شدت ۸ آمپر در مدت ۱۰ساعت یا ۲۰ آمپر در ۴ ساعت در مدار برقرار سازد.

پرسش۳-۵- اگر جریانی به شدت یك آمپر از چنین انباره‌ای‌گرفته شود چند ساعت می‌تواند کار کند؟

درعمل نتیجه‌ای‌که به دست می‌آید با آنچه درمثال بالاگفته شد تطبیق‌نمی‌کند. یعنی اگر ازیك انباره شدت جریان‌کمی در مدت درازگرفته شود ظرفیت آن عملا خیلی بیشتر از هنگامی‌خواهدبود که از آن شدت جریان زیاد در مدت کوتاهی گرفته شود.

ظرفیت‌الکتریکی تجارتی انباره را برای‌مدت ۱۰ ساعت حساب می‌کنند، یعنی مقدار آمپر ساعتی که در مدت ۱۰ ساعت از تخلیهٔ‌کامل انباره به دست می‌آید.

وقتی‌که یك انبارهٔ سربی از بار الکتریکی تخلیه می‌شود هر دو صفحهٔ آن به تدریج به سولفات سرب تبدیل می‌شوند و اسید آن رقیق‌تر می‌گردد یعنی چگالی آن‌کمتر از آنچه باید باشد می‌شود. بنابراین برای تشخیص چگونگی انباره باید چگالی اسید آن با چگالی‌سنج امتحان شود.

نیروی محرکهٔ هر واحد انبارهٔ سربی،موقعی که‌کاملا پر باشد ۲/۲ ولت و چگالی نسبی اسید آن ۱/۲۵ است. **وقتی ازانباره سربی به طورعادی استفاده شود نیروی محرکه هرواحدآن تا مدت‌زیادی در حدود ۲ ولت ثابت می‌ماند و اگر چگالی اسید به ۱/۱۵ تنزل‌کند انباره خالی شده تلقی می‌شود. یك باتری ۱۲ ولتی اتومبیل از اتصال متوالی ۶ واحد انباره درست می‌شود.**

مراقبت از انبارهٔ سربی- انبارهٔ سربی بایدبه طور مرتب پر شود. هیچ‌گاه نباید انباره رادرمدت طولانی خالی نگاه داشت.اگر ازانباره استفاده‌نشود باید آن را ماه به ماه پرکرد.

وقتی‌که انباره‌کاملا پرمی‌شود در صورتی‌که عمل پرکردن ادامه‌یابد از قطب منفی آن ئیدروژن و از قطب مثبت آن اکسیژن متصاعد می‌شود بنابراین از امتحان باتریهای پرشده در مجاورت شعله باید خودداری شود زیرا مخلوط اکسیژن و ئیدروژنی‌که از قطبها متصاعد می‌شود ممکن است منفجرگردد. خالی شدن بیش از اندازهٔ انباره یا اتصال مستقیم قطبهای آن به یکدیگر برای انباره خیلی زیان‌آور است و این عمل سبب می‌شودکه صفحه‌های‌انباره متورم شوند وموادفعال آنهاسست شده و به ته ظرف‌انباره فرو ریزند.اگر انباره‌مدتی خالی بماند سولفات سربی‌که روی صفحه‌ها تشکیل می‌شود به صورت بلورهای سفید رنگی درمی‌آید که با پرکردن انباره هم به سرب یااکسید سرب تبدیل نمی‌شود. وقتی‌که چنین حالتی برای انباره پیش آید می‌گویند انباره سولفاته شده است. این انباره دیگر قابل استفاده نیست و باید به جای آن انبارهٔ نوی تهیه شود.

ب-انبارهٔ قلیایی- در انباره‌های‌قلیایی به‌جای

(ئیدروکسید پتاسیم) استفاده می‌شود.

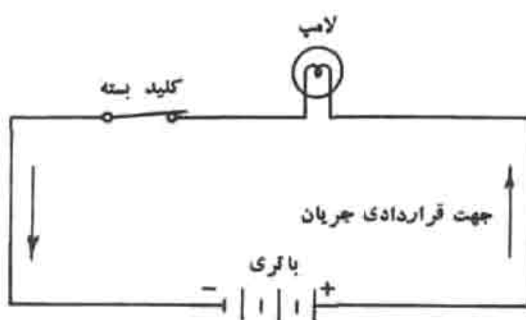
قطب مثبت انبارهٔ قلیایی صفحه‌هایی ازجنس ئیدروکسید نیکل و قطب منفی آن آهن یا کادمیم است. چون کادمیم برآهن مزیت دارد امروزه‌بیشتر کادمیم را به‌کارمی‌برند. ولی به تجربه معلوم‌شده است‌که اگر مقدارکمی آهن به‌کادمیم اضافه شود بازده انباره افزایش می‌یابد. دوام انباره‌های قلیایی خیلی بیشتر از انباره‌های سربی‌است وبرخلاف انبارهٔ سربی وقتی از آنها جریان زیادگرفته شود آسیب نمی‌بینند. علاوه براین می‌توان آنها را چندماه بدون استفاده در حال تخلیهٔ الکتریکی نگاه داشت. به همین جهت انباره‌های قلیایی را برای تأمین روشنایی قایقهای تفریحی‌که مدتهاممکن است‌بدون استفاده روی آب دریا باقی بمانند به‌کار می‌برند. بسیاری‌ازکشتیهای‌بزرگ، بیمارستانها وساختمانهای عمومی نیز ممکن است مجهز به باتریهای قلیایی باشندکه به هنگام ضرورت و قطع ناگهانی برق از آنها برای روشنایی استفاده شود. یکی از عیبهای انبارهٔ قلیایی این است‌که نیروی محرکهٔ هرواحدآن فقط در حدود ۱/۲۵ ولت است و این هم به تدریج با تخلیهٔ الکتریکی انباره‌کاهش می‌یابد. نیروی محرکهٔ پنج واحد انبارهٔ قلیایی‌که به‌توالی‌هم بسته شوند معادل نیروی محرکهٔ سه واحد انبارهٔ سربی متوالی است.

علاوه برپیلهای شیمیایی اسبابهای دیگری مانند دینامو و پیل آفتابی و پیل ترموالکتریک برای تولید جریان برق پیوسته ساخته شده‌اندکه

ج با طرزکار آنها آشنا خواهید شد. دراینجا ما دنبالهٔ این بحث را رها می‌کنیم و به اصول و تعاریف مربوط به جریان برق و اندازه‌گیری آن می‌پردازیم.

مدار الکتریکی ساده

می‌دانیدکه یك مدار الکتریکی ساده‌معمولا تشکیل می‌شود از یك مولد مانند پیل یا باتری‌که دو قطب آن با سیمهای مسی به دو سر یك یا چند



شکل۳-۴- طرح یك مدار الکتریکی ساده.

مقاومت الکتریکی یا مصرف‌کنندهٔ دیگر[1] وصل شده‌اند. شکل ۳-۴ مدار الکتریکی ساده‌ای رانشان می‌دهدکه شامل یك باتری و یك لامپ و یك‌کلید است و هر یك از این اجزا با علامتهای قراردادی **ویژه‌ای نمایش‌داده شده‌است. پاره‌ای ازاین علامتهای قراردادی در شکل ۳ - ۵ نمایش داده شده است. چون پیل یا باتری دارای نیروی محرکه است سبب می‌شودکه بین دو سر هر یك ازاجزای مصرف‌کنندهٔ موجود در مدار اختلاف پتانسیلی برقرار شود و در نتیجه ازآنها جریان الکتریسته بگذرد.**

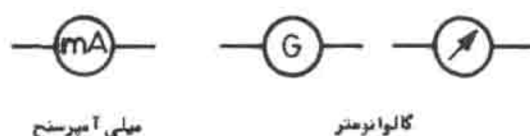
هر یك از اجزای موجود در مدار مقاومت

۱- مفهوم فیزیکی مقاومت الکتریکی و مصرف‌کننده را در صفحه‌های بعد خواهید دید.











شکل ۳ـ۵ـ پاره‌ای ازعلامتهای قراردادی اجزاء مدارالکتریکی

جداگانه و خاصی در برابر حرکت‌الکترونها ازخود نشان می‌دهدکه مقاومت الکتریکی آن جزء نامیده می‌شود. بنابراین در هر مدار الکتریکی ساده سه چیز معمولا اندازه‌گیری می‌شود:

ـ شدت جریان الکتریکی ، یعنی مقدار الکتریسیته‌ای که در واحد زمان‌از مدارمی گذرد و و احد آن آمپر است (با علامت اختصاری A)؛

ـ نیروی محرکه یا اختلاف پتانسیل که واحد هر دو ولت است (V)؛

ـ مقاومت‌الکتریکی که‌واحدآن‌اهم است(Ω).

۱ـ آمپر واحد شدت جریان الکتریسیته. واحد شدت جریان الکتریسیته در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) آمپر است وبنا به تعریف عبارت‌است از جریان ثابتی که اگر از دو سیم راست وموازی

به طول بی‌نهایت و به سطح مقطع بی‌نهایت کوچك که در خلاء[۴] به فاصلهٔ یك متر از یکدیگر قرارگرفته باشند بگذرد روی هر یك از دو سیم نیرویی برابر 2×10^{-7} نیوتن بر هر متر ازطول آنها واردشود.

مقدار الکتریسیتهـ چون جریان الکتریسیته در یك مدار به معنی عبور الکتریسیته از آن مدار است، مقدار الکتریسیته‌ای که در هر نقطه از مدار می‌گذرد، بستگی به شدت جریان و زمان عبور جریان دارد.

واحد مقدار الکتریسیته در دستگاه بین‌المللی واحدها کولن[۱] است که با علامت اختصاری C نمایش داده می‌شود.

یك کولن بنا به تعریف مقدار الکتریسیته‌ای است که جریانی به شدت یك آمپر در مدت یك ثانیه درهر نقطه از مقطع مدار عبور دهد.

بنابراین برای تعیین مقدار الکتریسیتهٔ کل Q (برحسب کولن) که درهر نقطه ازمدار از مقطع آن می‌گذرد کافی است شدت جریان I (برحسب آمپر) را در زمان عبور جریان t (برحسب ثانیه) ضرب کرد:

$$Q = I \cdot t \quad (۱-۳)$$

کولن (آمپر) (ثانیه)

اگر زمان t برحسب ساعت منظور شود Q برحسب آمپر ساعت که یك واحد فرعی است بیان می‌شود.

پرسش ۳-۶ ـ یك آمپرساعت برابر چند کولن است؟

پرسش ۳-۷ـ اگر در نظر بگیرید که بار الکتریکی هر الکترون $e = 1/6 \times 10^{-19}$ کولن است چند الکترون باید از مقطع یك مدار بگذرد تا یك کولن الکتریسیته عبور کند.

۲ـ ولت واحد اختلاف پتانسیلـ با مفهوم اختلاف پتانسیل در فصل ۲ آشنا شدید. وقتی که در یك سیم جریان الکتریسیته برقرار می‌شود می‌توان گفت بین دو سر آن اختلاف پتانسیل وجود دارد.

واحد اختلاف پتانسیل در دستگاه بین‌المللی واحدها ولت است و چنین تعریف می‌شود:

یك ولت اختلاف پتانسیل میان دو نقطه‌است که اگر یك کولن الکتریسیته از یك نقطه به نقطهٔ دیگر انتقال یابد یك ژول کار انجام دهد.

بنابراین اگر Q کولن الکتریسیته ضمن انتقال از یك نقطه به نقطهٔ دیگر W ژول کار انجام دهد کار حاصل از انتقال یك کولن $\frac{W}{Q}$ است و این کار برابر اختلاف پتانسیل میان آن دو نقطه است که به V نمایش داده می‌شود. یعنی:

$$V\ (\text{ولت}) = \frac{W\ (\text{ژول})}{Q\ (\text{کولن})} \quad (۲-۳)$$

در صورتی که $W = 1J$ و $Q = 1C$ باشد $V = 1V$ است یعنی:

$$1V = \frac{1J}{1C} \quad (۳-۳)$$

پرسش ۳ - ۸ - اگر بار الکتریکی $Q = 1/6 \times 10^{-15}$ کولن از نقطهٔ A به نقطهٔ B که اختلاف پتانسیل بین آن دو نقطه ۱۰۰ ولت است برود کار حاصل از انتقال آن چند ژول است؟

۱- Coulomb

کاری که در اثر عبور الکتریسیته در مدار انجام می‌شود توسط مولد تأمین می گردد وعامل آن نیروی محرکهٔ مولد است. نیروی محرکه‌چنان که گفتیم با واحد ولت اندازه گرفته می‌شود و برابر انرژی‌است که مولد به‌واحد بار الکتریکی (یك کولن الکتریسیته) می‌دهد تا درمدار جریان یابد.

پرسش ۳-۹- این انرژی در مولد چگونه تأمین می‌شود؟

پرسش ۳-۱۰- با توجه به مفهوم «نیروی محرکه»، به نظر شما آیا این نام درست و مناسب انتخاب شده است؟

۳- مقاومت الکتریکی- ضمن مطالعهٔ فصل ۲ آزمایشی را انجام دادیدکه به وسیلهٔ آن‌رسانایی و نارسانایی، یا به عبارت دیگر، قابلیت هدایت الکتریکی بعضی از مواد با هم مقایسه می‌شد و نتیجه گرفتیدکه مواد را می‌توانید برحسب درجهٔ رسانایی یا نارساناییشان رده بندی کنید.

وقتی که گفتگو از عبور جریان الکتریسیته‌از یك جسم‌به میان‌می‌آوریم معمولا به این‌می‌اندیشیم که آن جسم تا چه اندازه در مقابل عبور جریان، یا حرکت‌الکترونها، مقاومت ازخود نشان‌می‌دهد. به طور کلی، هر ماده‌ای که الکتریسیته را بهتر هدایت کندیعنی رسانای بهتری باشد دارای مقاومت الکتریکی کمتر است و هر چه رسانای ضعیف‌تری باشد مقاومتش در برابر عبور جریان برق بیشتر است. موادی‌که برای الکتریسیتهٔ ساکن نارسانای خوب باشند در برابر جریان برق هم نارسانای خوب خواهند بود.

قانون اهم- در سال ۱۸۲۶ میلادی اهم که معلم فیزیك در شهر کلن در آلمان بودکتابی‌منتشر کردکه در آن آزمایشهایی‌را دربارهٔ تحقیق‌رابطهٔ‌بین شدت جریان در یك سیم و اختلاف پتانسیل دو سر آن به تفصیل شرح داده بود. اهم از آزمایشهای خود به نتیجه‌ای رسیدکه ما امروزه آن را بـه نام **قانون اهم** به صورت زیر می‌شناسیم:

شدت جریانی‌که در دمای ثابت از یك سیم می‌گذرد متناسب با اختلاف‌پتانسیل دو سرآن‌است، یعنی اگر اختلاف پتانسیل دوسر یك سیم را مرتباً افزایش دهیم در صورتی که دمای سیم ثابت بماند شدت جریان در آن به همان نسبت افزایش می‌یابد در نتیجه‌خارج‌قسمت اختلاف پتانسیل‌برشدت‌جریان ثابت می‌ماند، یعنی:

$$\text{مقدار ثابت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{شدت جریان}}$$

در صورتی که اختلاف پتانسیل ثابت باشداز سیم پرمقاومت شدت جریان‌کم و ازسیم کم‌مقاومت شدت‌جریان زیادخواهد گذشت. بنابراین، مقدارثابت در رابطهٔ بالا (که اگربزرگ باشد دلیل‌برکم‌بودن شدت جریان و اگر کوچك باشد دلیل برزیاد بودن شدت جریان است)در واقع همان مقاومت‌الکتریکی سیم است، یعنی:

$$\text{مقاومت} = \frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{شدت جریان}} \quad (۳-۴)$$

به عبارت دیگر: **مقاومت الکتریکی یك سیم برابر خارج‌قسمت‌اختلاف پتانسیل دو سر آن‌برشدت جریانی است‌که از آن سیم می‌گذرد.**

اهم‌واحدمقاومت‌الکتریکی- واحد مقاومت الکتریکی اهم نـام دارد. با توجه بـه تعریفهـای ولت و آمپر (واحدهای اختلاف پتانسیل و شـدت جریان) و به‌کمك تعریفی‌که در بالا برای مقاومت

الکتریکی بیان شد، اهم (واحد مقاومت الکتریکی) چنین تعریف می‌شود:

اهم مقاومت الکتریکی یك رسانا است که اگر به دو سر آن اختلاف پتانسیل یك ولت برقرار شود از آن جریان یك آمپر بگذرد.

بنابراین: $\text{اهم} = \frac{\text{ولت}}{\text{آمپر}}$

اگر مقاومت الکتریکی را به حرف R نمایش دهیم رابطهٔ (۳-۴) با استفاده از علامتهای اختصاری چنین نوشته می‌شود: $\frac{V}{I} = R$ یا $I = \frac{V}{R}$

یا (۳-۵)

$$\underset{(\text{ولت})}{V} = \underset{(\text{آمپر})}{I} \cdot \underset{(\text{اهم})}{R}$$

(رابطهٔ اخیر برای به خاطرسپردن مناسب‌تر است)

پرسش ۳-۱۱- اگر به‌دوسر سیمی که‌مقاومت آن ۱۰ اهم است اختلاف پتانسیل ۶ ولت برقرار شود چه شدت جریانی از آن سیم خواهد گذشت؟

اثر دما برمقاومت الکتریکی- مقاومت الکتریکی فلز خالص با افزایش دما افزایش‌می‌یابد. **مثلا گرمقاومت الکتریکی یك قطعه سیم‌ازجنس فلز خالص دردمای صفر درجه سلسیوس R_0 باشد مقاومت‌آن در دمای $\theta°$ تقریباً از رابطه زیرحساب می‌شود:**

$$R = R_0(1 + \alpha\theta)$$

α ضریبی که بستگی به جنس‌فلزدارد ودرحدود $\frac{1}{250} = 0/004$ است. مقاومت بعضی ازمواد رسانا مانندکربن، با افزایش دما کاهش می‌یابد. مقاومت آلیاژهایی مانند کنستانتان و مانگانین در شرایط عادی خیلی‌کم با دما تغییرمی‌کند. به همین جهت این‌آلیاژها رابرای ساختن مقاومتهای استاندارد به‌کار می‌برند.

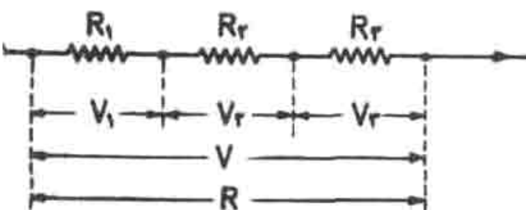
پرسش ۳-۱۲- آیا مقاومت یك لامپ چراغ برق معمولی، هنگامی‌که روشن است با وقتی‌که خاموش است تفاوت دارد؟

علاوه بردما، عوامل فیزیکی دیگری نیز سبب تغییرمقاومت الکتریکی اجسام می‌شود. مثلا اگر بعضی از رساناها را خم کنند یا آنها را از دو طرف بکشند یا عمود برمیدان مغناطیسی قوی قرار دهند مقاومت آنها تغییر می‌کند.

به هم بستن مقاومتها

مقاومتها را بنا به احتیاجی‌که درکاربردآنها پیش می‌آید می‌توان به طور متوالی یا به طور موازی به هم بست ودرمدار جریان برق قرارداد.

الف- مقاومتهای متوالی- اگرچند مقاومت مانند R_1 و R_2 و R_3 یکی به دنبال دیگری بسته شود به طوری‌که‌از همهٔ آنها شدت جریان I بگذرد می‌گوییم که مقاومتها به طور متوالی به هم بسته شده‌اند (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶- مقاومتهای متوالی

اگرR نمایش‌مقاومت کل‌مجموع این‌مقاومتها، به عبارت دیگر مقاومت معادل مجموعه و V نمایش

اختلاف پتانسیل دو سر آنها باشد داریم:

$$V=IR$$

ولی اختلاف‌پتانسیل V برابر مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر هریک از مقاومتهای R_1 و R_2 و R_3 است. یعنی:

$$V=V_1+V_2+V_3$$

بنابراین: $IR=IR_1+IR_2+IR_3$

پس از حذف I از دو طرف این معادله نتیجه می‌شود که:

$$\boxed{R=R_1+R_2+R_3} \qquad (۳-۶)$$

یعنی وقتی‌که مقاومتها به طور متوالی به هم بسته می‌شوند مقاومت معادل مجموعه برابر مجموع مقاومتهایی است‌که به دنبال هم بسته شده‌اند.

ب- مقاومتهای موازی- مقاومتها را در صورتی موازی می‌گویندکه هر یك از آنها بین‌دو نقطه از یك مداربسته‌شود. شکل ۳-۷ سه‌مقاومت R_1 و R_2 و R_3 را نشان می‌دهدکه به طورموازی بین دو نقطه بسته شده‌اند. بدیهی است اختلاف پتانسیل دوسر همهٔ آنها یکی است ولی جریان‌کل مدار، بین‌آنها تقسیم می‌شود.

فرض‌کنیم I ، شدت جریان‌کل، به I_1 وI_2و I_3 به ترتیب در R_1 و R_2 و R_3 تقسیم شود و V اختلاف پتانسیل مشترك دو سرآنها باشد. اگر مقاومت معادل این مجموعه را به R نمایش‌دهیم طبق قانون اهم خواهیم داشت:

$$V=IR$$

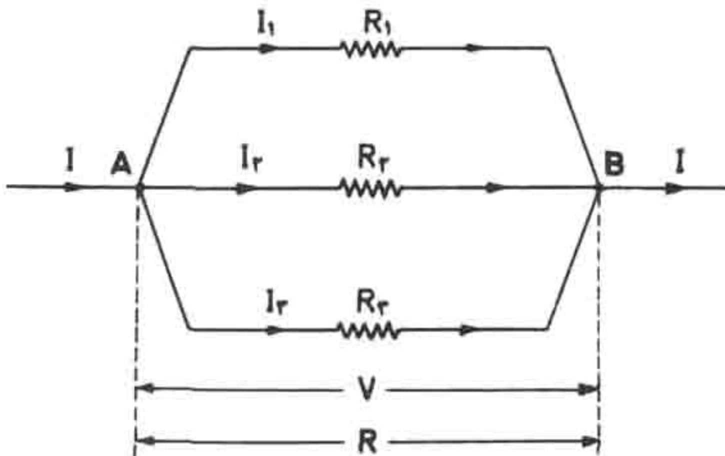
چون: $I=I_1+I_2+I_3$

بنابراین: $\dfrac{V}{R}=\dfrac{V}{R_1}+\dfrac{V}{R_2}+\dfrac{V}{R_3}$

با حذف V از دو طرف این رابطه نتیجه‌می‌شودکه:

$$\boxed{\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}} \qquad (۳-۷)$$

عکس مقاومت الکتریکی، یعنی $\dfrac{1}{R}$ را «هدایت الکتریکی» یا « کندو کتانس[1] » می‌نامند . رابطه



شکل ۳-۷- مقاومتهای موازی

1- Conductance

۳-۷ نشان می‌دهد که وقتی مقاومتها به طور موازی به هم بسته می‌شوند کندوکتانس معادل مجموعه (یا عکس مقاومت معادل مجموعه) برابر مجموع کندوکتانسهای مقاومتهاست .

در نظر داشته باشید که وقتی چند مقاومت به طور موازی بسته می‌شوند مقاومت معادل، کوچکتر از هریك از آن مقاومتهاست. مثلا اگر سه مقاومت مساوی را به طور موازی به هم ببندیم مقاومت معادل برابر $\frac{1}{3}$ مقاومت هر یك از آنها خواهد بود.

پرسش ۳-۱۳- چگونه می‌توان عملا تشخیص داد که شدت جریان کل I برابر مجموع شدتهای I_1 و I_2 و I_3 است؟

پرسش ۳-۱۴- اگر دو مقاومت $R_1 = 12$ اهم و $R_2 = 24$ اهم به طور موازی به هم بسته شوند مقاومت معادل آنها چند اهم خواهد بود؟

درحالت خاصی که n مقاومت الکتریکی یکسان هر یك به مقاومت R_1 به طور موازی به هم بسته شوند مقاومت معادل آنها طبق رابطه ۳-۷ برابر است با :

$$\boxed{R = \frac{R_1}{n}}$$

اگر تنها دو مقاومت R_1 و R_2 به طورموازی به هم بسته شده باشند داریم :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_2 + R_1}{R_1 R_2}$$

یا :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}$$

از تقسیم صورت و مخرج آن بر R_2 نتیجه می‌شود :

$$R = \frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

در حالتی که مقاومت R_1 در مقابل R_2 بسیار کوچك باشد به طوری که $\frac{R_1}{R_2}$ در مقابل ۱ ناچیز گردد خواهیم داشت :

$$R \approx R_1$$

یعنی در چنین حالتی مقاومت معادل عملا برابر مقاومت کوچکتر است .

مثلا اگر $R_1 = 0.001$ اهم و $R_2 = 1$ اهم باشد $\frac{R_1}{R_2} = 0.001$ است و داریم :

$$R = \frac{0.001}{1.001} \approx 0.001\,\Omega$$

قوانین تجربی جریانهای انشعابی

از مطالبی که در بالا بیان شد نتیجه می‌شود که اگر بین دو نقطه از یك مدار (مثلا دو نقطه A و B در شکل ۳-۷) جریان الکتریکی میان چند مقاومت پخش شود شدت جریان درهریك ازشاخه‌های انشعاب با مقاومت آن شاخه نسبت عکس دارد .

در شاخه ۱ ، حاصلضرب $R_1 I_1$ برابر اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B است . حاصلضربهای $R_2 I_2$ و $R_3 I_3$ نیزبرابر اختلاف پتانسیل میان همین دو نقطه است که به ترتیب در شاخه‌های ۲ و ۳ انشعاب حساب شده‌اند . چون اختلاف پتانسیل میان دونقطه A و B برای تمام شاخه‌های انشعابی موجود بین این دو نقطه یکی است خواهیم داشت :

$$\boxed{V_A - V_B = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = IR}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر مقاومت R (یعنی مقاومت معادل) به جای مجموعه مقاومتهای R_1 و R_2 و R_3 که به طور موازی بین دو نقطه بـه هم بسته شده‌اندگذاشته شود ازاین مقاومت شدت جریان اصلی I می‌گـذرد و اختلاف پتانسیل میان این دو نقطه تغییر نمی‌کند.

نتایج حاصل از مطالبی که در چند صفحه اخیر بیان‌شد به صورت دوقانون به نام «قوانین‌کیرشهف[1]» خلاصه می‌شود:

قانون اول - مجموع شدتهای جریانی که به هر نقطه اتصال در یك مدار الکتریکی می‌رسند برابر است با مجموع شدتهای جریانی کـه از این نقطه خارج می‌شوند. مثلا در شکل ۳-۷ شدت جریان I به نقطه اتصال A می‌رسد وشدتهای I_1 و I_2 و I_3 ازآن خارج می‌شوند بنابراین:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \qquad (۳-۸)$$ قانون اول کیرشهف

این قانون ازدید منطق نیز مورد قبول است‌زیرا اگر جریانی که ازیك نقطه اتصال‌خارج می‌شودکمتر از جریانی باشدکه به‌آن نقطه می‌رسد بار الکتریکی در این نقطه به تدریج افزایش می‌یـابد و در نتیجه پتانسیل این نقطه مرتباً تغییر می‌کند در صورتی کـه عملا چنین کیفیتی مشاهده نمی‌شود.

قانون دوم - مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر مقاومتها و وسایل الکتریکی دیگری‌که در یك مدار بسته می‌شوند برابر اختلاف پتانسیلی است‌که به دو سر این مدار اعمال می‌شود.

یعنی:

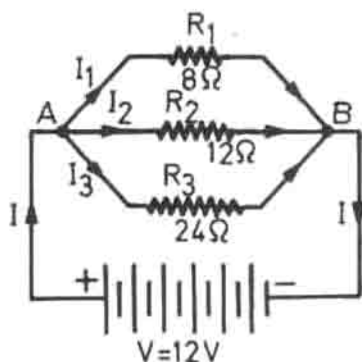
$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots \qquad (۳-۹)$$ قانون دوم کیرشهف

این قانون حالت خاصی از قانون بقای انرژی است.

یادآوری - قوانین کیرشهف به صورتی که در اینجا بیان شده ویژه جریان‌پیوسته است. این‌قانونها برای جریان متناوب به این صورت صادق نیستند و تنها موقعی می‌توان‌آنها را درمورد این جریان به‌کار برد که مدار فقط شامل مقاومت معمولی باشد.

برای‌کاربرد این قانونها اینك به ذکر چند مثال می‌پردازیم.

مثال ۱ - سه مقاومت $R_1 = 8\Omega$ و $R_2 = 12\Omega$ و $R_3 = 24\Omega$ بـه طور موازی بـه هم بسته شده و مجموعه حاصل با سیمهای بدون مقاومت به دوسر یك باتری متصل است (شکل ۳-۸). ولت سنج اختلاف



شکل ۳-۸- مثال برای کاربرد قانون اول کیرشهف

---

[1] - Gustave Robert Kirchhoff (۱۸۲۴-۱۸۸۷ م) فیزیکدان آلمانی کـه در الکتریسیته و نور تحقیقات جالبی انجام داده است.

پتانسیل دو سر بـاتری را ۱۲ ولت نشان می‌دهد . شدت جریـان کل و شدت جریانی که از هر یك از این مقاومتها می‌گذرد چندآمپر است ؟

ـ نخست مقاومت معادل بین دونقطه A و B را حساب می‌کنیم :

$$\frac{۱}{R}=\frac{۱}{۸}+\frac{۱}{۱۲}+\frac{۱}{۲۴}=\frac{۶}{۲۴}$$

$$R=\frac{۲۴}{۶}=۴\Omega$$

شدت جریان کل برابر است با :

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۱۲V}{۴\Omega}=۳A$$

شدت جریان درهریك از مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ به ترتیب برابر است با :

$$I_۱=\frac{V}{R_۱}=\frac{۱۲}{۸}=۱/۵A$$

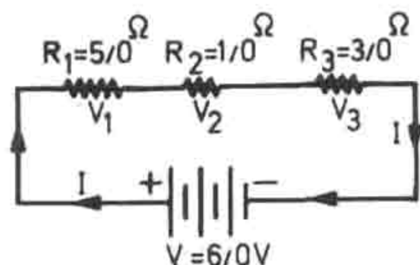
$$I_۲=\frac{V}{R_۲}=\frac{۱۲}{۱۲}=۱A$$

$$I_۳=\frac{V}{R_۳}=\frac{۱۲}{۲۴}=۰/۵A$$

مشاهده می‌شود که :

$$I_۱+I_۲+I_۳=۱/۵+۱+۰/۵=۳A=I$$

مثال ۲ـ سه مقـاومـت $R_۱=۵/۰\,\Omega$ و $R_۲=۱/۰\Omega$ و $R_۳=۳/۰\Omega$ بـه طور متوالی به هم بسته شده ودو سر مجموعه به دوقطب یك باتری که می‌تواند اختلاف پتانسیل ۶/۰ ولت بـه دو سر این مجموعـه بر قـرار سازد بسته شده است (شکل ۳ـ۹) با محاسبه نشان دهیدکه اختلاف پتانسیل دوسر باتری برابر مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر هـر یك از اجزاء مدار است .



شکل ۳ـ۹ـ مقاومتهای متوالی در مدار برای نشان دادن قانون دوم کیرشهف

ـ مقاومت معادل مدار برابر است با :

$$R=۵/۰+۱/۰+۳/۰=۹/۰\Omega$$

شدت جریان در مدار

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۶/۰V}{۹/۰\Omega}=\frac{۲}{۳}A$$

است . اختلاف پتانسیلهـای دو سر مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ به ترتیب برابر است با :

$$V_۱=IR_۱=\frac{۲}{۳}\times ۵=\frac{۱۰}{۳}V$$

$$V_۲=IR_۲=\frac{۲}{۳}\times ۱=\frac{۲}{۳}V$$

$$V_۳=IR_۳=\frac{۲}{۳}\times ۳=۲V$$

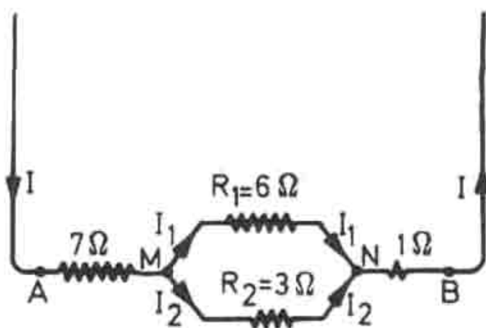
مشاهده می‌شود که :

$$V_۱+V_۲+V_۳=\frac{۱۰}{۳}+\frac{۲}{۳}+۲=۶V=V$$

مثال ۳ ـ چهـار مقاومت مطابق شکل ۳ـ۱۰ به هم متصل شده‌اند . اگـر اختلاف پتانسیل میان دو

نقطه A و B برابر ۳۰V باشد مطلوبست شدتهای جریانی که از این مقاومتها می‌گذرند.

ـ ابتدا مقاومت معادل بین دو نقطه M و N را حساب می‌کنیم.



شکل۳ــ۱۰ــ مربوط به مثال ۳.

$$\frac{۱}{R_{MN}}=\frac{۱}{۶}+\frac{۱}{۳}=\frac{۳}{۶}$$

و
$$R_{MN}=\frac{۶}{۳}=۲\Omega$$

مقاومت معادل بین دو نقطه A و B برابر است با:

$$R_{AB}=۷+۲+۱=۱۰\Omega$$

شدت جریان کل I که وارد قسمت AB مدار می‌شود برابر است با:

$$I=\frac{V_{AB}}{R_{AB}}=\frac{۳۰V}{۱۰\Omega}=۳A$$

شدت جریان در هر یک از مقاومتهای $R_۱$ و $R_۲$ متناسب با عکس آن مقاومت است و به ترتیب زیر حساب می‌شود:

$$I_۱=I\frac{R_{MN}}{R_۱}=۳\times\frac{۲}{۶}=۱A$$

و
$$I_۲=I\frac{R_{MN}}{R_۲}=۳\times\frac{۲}{۳}=۲A$$

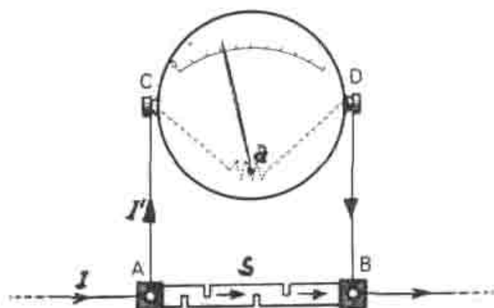
به‌آسانی مشاهده می‌شود که اختلاف پتانسیل میان‌دو نقطه A و B برابر مجموع اختلاف پتانسیلهای دو سر اجزاء مدار است.

چند نمونه از کاربردهای عملی قوانین جریانهای انشعابی

۱ـ استفاده از مهار(شُنْت)[1] در آمپر سنج.

درآمپرسنجهای حساس جریان ضعیفی (که معمولاجزء کوچکی از یک‌آمپر است)کافی است تا عقربه را از صفر بـه انتهای صفحه مـدرج آمپرسنج برساند. بنابراین برای اندازه‌گیری جریان قویترلازم است که جزء معینی از جریان مورد نظر ازآمپرسنج بگذرد. برای این منظورمقاومت حساب شده‌ای را که«مهار» (شنت) نامیده می‌شود به طورانشعاب به دوسرآمپر-سنج می‌بندند (شکل ۳ــ۱۱).

اگر مقاومت آمپرسنج و سیمهـای رابط (یعنی



شکل ۳ــ۱۱ــ آمپرسنج شنت شده

1- Shunt

سیمهای AC و BD) را به a و مقاومت شنت را به S ومقاومت معادل آمپرسنج شنت شده را به R نمایش دهیم داریم :

$$\frac{۱}{R}=\frac{۱}{a}+\frac{۱}{S} \qquad (۳-۱۰)$$

ازطرف دیگر اگر I شدت جریان اندازه‌گرفتنی و I' شدت‌جریانی باشدکه از خودآمپرسنج می گذرد (واین شدت روی آمپرسنج خوانده می‌شود) خواهیم داشت :

$$V_A - V_B = I'a = IR$$

درنتیجه : (۳-۱۱)

$$\frac{a}{R}=\frac{I}{I'}=n$$

n عددی است که باید درشدت I' (که روی آمپرسنج خوانده می‌شود) ضرب شود تا شدت جریان اندازه گرفتنی I به دست‌آید . به همین جهت‌آنرا «مضرب شنت» گویند . ازترکیب دو رابطه ۳-۱۰ و ۳-۱۱ نتیجه می‌شود :

$$n=\frac{I}{I'}=a\left(\frac{۱}{a}+\frac{۱}{S}\right)$$

یا

$$\boxed{n=\left(۱+\frac{a}{S}\right)} \qquad (۳-۱۲)$$

اگر نسبت $\frac{a}{S}$ معادل ۹ یا ۹۹ و . . . انتخاب شود،یعنی مقاومت شنت $\frac{۱}{۹}$ یا $\frac{۱}{۹۹}$ و . . . مقاومت آمپر سنج باشد (و معمولا چنین است) n برابر ۱۰ یا ۱۰۰ و . . . خواهد بود .

مقاومت معادل آمپرسنج شنت شده (یعنی R) از رابطه ۳-۱۱ حساب می‌شود و برابر است با خارج قسمت مقاومت‌آمپرسنج برعدد n .

یعنی :

$$R=\frac{a}{n}$$

۲- استفاده‌ازولت‌سنج برای اندازه‌گیری

اختلاف پتانسیل - با ولت سنج اختلاف‌پتانسیل میان دونقطه از مدار الکتریکی اندازه‌گرفته می‌شود . ولت سنج بـه همان روش آمپرسنج ساخته می‌شود[۱] ولی باآن تفاوتهای اساسی زیر را دارد :

۱- حساسیت ولت سنج بسیار زیـاد است بـه طوری‌که جریانی به شدت چند میلی‌آمپر کافی است که عقربه را تا انتهای صفحه مدرج‌آن منحرف کند.

۲- R، مقاومت‌آن، خیلی زیاد وممکن است از ۱۰۰۰۰ اهم بیشتر باشد .

۳- صفحه‌آن برحسب‌ولت مدرج‌است به‌طوری که اگرازآن جریان I' بگذردحاصل‌ضرب $I'R$ روی آن خـوانده می‌شود . بنابـراین ولت سنج اختلاف پتانسیلی راکه بین دوسرآن برقرار می‌شود طبق‌قانون اهم معین می کند .

برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل میان دو نقطه A و B یك مدار ، ولت‌سنج را به طورانشعاب بین این دو نقطه می‌بندند، یعنی دوسرM وN ولت‌سنج را با سیمهای رابط بدون مقاومت به دونقطه A و B وصل می کنند (شکل ۳-۱۲) .

برای‌این که بستن ولت‌سنج آشفتگی درمدارایجاد نکند و اختلاف پتانسیل به درستی اندازه‌گرفته شود باید شدت جریان I' که ازولت سنج می‌گذرد درمقابل

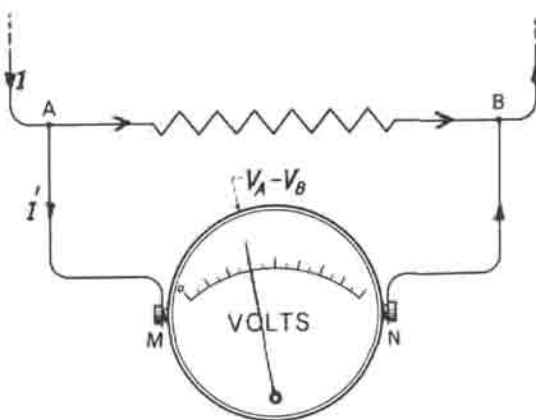
۱- ساختمان‌آمپرسنج و ولت سنج را دربخش ۷ خواهید دید.

مولد وصل کرد ، زیرا شدت جریان زیادی از آن خواهدگذشت وآمپرسنج آسیب خواهد دید . ولت‌سنج همان طور که گفته شد به طور موازی به دو سر هریك از اجزاء مدار بسته می‌شود واختلاف پتانسیل میان دو سرآن جزء را مستقیماً معین می کند .

۳ــ چراغهای برق در خیابانها و وسایل الکتریکی در خانه‌ها به طور انشعابی به شبکه توزیع برق شهرمتصل می‌شوند . درنتیجه اختلاف پتانسیل دو سر همهٔ آنها یکسان و برابر اختلاف پتانسیل موجود درشبکه (مثلا ۲۲۰ ولت) است و هرلامپ یا اسباب انرژی مورد لزوم خود را ازشبکه می گیرد .

چون هراسباب به طورمستقل ازشبکه برق می‌گیرد اگر مدار یك اسباب قطع شود فقط‌آن اسباب ازکار می‌افتد و جریان برق در بقیه وسایل برقرار خواهدبود .

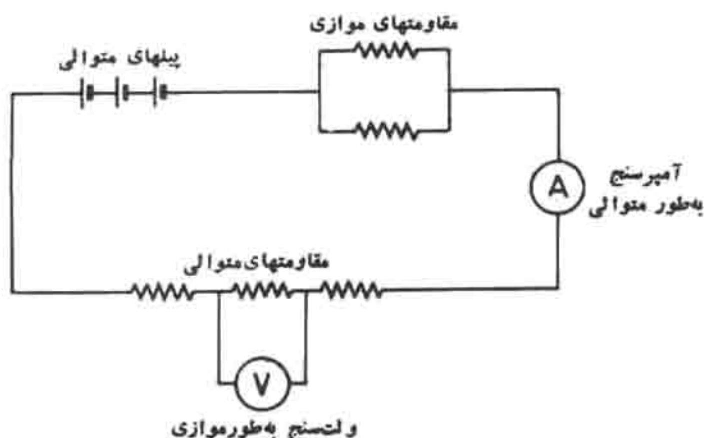
مقاومت الکتریکی یك سیم در دمای‌ثابت به‌چه‌عواملی‌بستگی دارد؟ـ هنگام ساختن سیمهای مقاومت‌دار، سیمهای‌درازوباریك‌را برای‌مقاومتهای زیاد وسیمهای کوتاه و کلفت‌را برای‌مقاومتهای کم‌به



شکل ۳ــ۱۲ــ طرز اتصال ولت سنج برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل .

شدت جریان اصلی I ناچیز باشد و این مستلزم آن است که R مقاومت ولت‌سنج در برابر مقاومت بین دو نقطه A و B مدار بسیار بزرگ باشد .

درشکل ۳ــ۱۳ طرزاتصال‌آمپرسنج و ولت‌سنج با هم در یك مدار الکتریکی نشان داده شده است . آمپرسنج‌چنانکه درشکل دیده می‌شود با اجزاء دیگر مدار به طور متوالی بسته می‌شود . چون مقاومت آمپرسنج بسیارکم است نباید آنرا مستقیماً به دو سر



شکل ۳ــ۱۳ــ استفاده از آمپرسنج و ولت سنج در مدارجریان برق .

کار می‌برند. علاوه بر طول و کلفتی سیم، جنس آن نیز عامل بسیار مؤثری است.

به عنوان مثال، درنظر بگیرید که دو سیم به یك کلفتی و از یك جنس داریم که طول اولی دوبرابر طول دومی است. مقاومت الکتریکی اولی هم دوبرابر مقاومت الکتریکی دومی است. زیرا سیم اولی که طولش دوبرابر است معادل دو رشته سیم دومی است که به دنبال هم (به طور متوالی) بسته شده‌اند. اگر طول سیم اولی را سه یا چهار برابر طول سیم دومی انتخاب کنیم مقاومت آن نیز به همین ترتیب سه یا چهار برابر خواهد شد. بنابراین مقاومت یك سیم متناسب با طول آن است. اگر R و l به ترتیب نمایش مقاومت و طول سیم باشند این تناسب را چنین نمایش می‌دهیم:

$$R \propto l \qquad (1)$$

مقاومت الکتریکی یك سیم با سطح مقطع آن نسبت معکوس دارد، زیرا هر سیم کلفت را می‌توان مجموعه‌ای از چند سیم نازك یکسان در نظر گرفت که به طور موازی به هم متصل شده‌اند. بنابراین اگر دو سیم همطول و همجنس داشته باشیم که سطح مقطع اولی دوبرابر سطح مقطع دومی باشد مقاومت الکتریکی سیم اولی نصف مقاومت سیم دومی است. به همین ترتیب اگر سطح مقطع سه یا چهار برابر باشد مقاومت الکتریکی یك سوم یا یك چهارم خواهد بود.

چنانچه مساحت سطح مقطع سیم را به A نمایش دهیم متناسب بودن مقاومت الکتریکی سیم با عکس سطح مقطع را می‌توانیم چنین نمایش دهیم:

$$R \propto \frac{1}{A} \qquad (2)$$

مقاومت ویژهـ گفتیم که مقاومت الکتریکی سیم با طول آن نسبت مستقیم و با سطح مقطع آن نسبت معکوس دارد. بنابراین از ترکیب دو رابطهٔ (۱) و (۲) نتیجه می گیریم که:

$$R \propto l . \frac{1}{A}$$

برای تبدیل این تناسب به یك تساوی باید طرف دوم آن‌را درمقدار ثابتی ضرب کنیم. اگر این مقدار ثابت را به ρ نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$\boxed{R = \rho \frac{l}{A}} \qquad (13\text{-}3)$$

ρ برای هرسیم مقدار ثابتی است که بستگی به جنس مادهٔ تشکیل دهندهٔ سیم دارد و آن‌را مقاومت ویژهٔ[1] مادهٔ تشکیل دهندهٔ سیم می‌نامیم. برای تعیین واحد ρ درنظر بگیرید که متر ۱ = l و مترمربع ۱ = A است. در این صورت:

$$\text{اهم}\,R = \rho \frac{\text{متر ۱}}{\text{مترمربع ۱}} = \frac{\rho}{\text{متر}}$$

بنابراین: $\rho = R$ اهم متر

یعنی «مقاومت ویژهٔ» یك ماده برحسب واحد «اهم متر» (با علامت اختصاری Ωm) سنجیده می‌شود و اندازهٔ عددی آن برابر است با مقاومت الکتریکی یك جسم رسانا که طول آن یك متر و مساحت سطح مقطع آن یك مترمربع باشد.

اهم‌متر واحد مقاومت‌ویژه دردستگاه بین‌المللی واحدهاست ولی در عمل واحد فرعی اهم سانتیمتر

۱ـ در اصطلاح دانش فیزیك ρ رزستیویته (Resistivity) نامیده می‌شود.

(Ωcm) را نیز به‌کار می‌برند.

پرسش ۳-۱۵- با توجه به این که مقاومت ویژهٔ آلیاژ نیکروم $110 \times 10^{-8} \Omega m$ است‌مقاومت سیمی از نیکروم به طول یک‌متر و به سطح مقطع یک میلیمتر مربع چند اهم است؟

مقاومت ویژهٔ فلزات خالص خیلی کم است. بنابراین، فلزات خالص رساناهای الکتریکی خوبی هستند. از بین فلزات متداول، نقره ازهمه رساناتر است و مس در ردیف دوم قرار دارد ولی چون‌نقره گران‌است‌سیمهای ارتباط‌و کابلهای‌انتقال‌الکتریسیته را از مس می‌سازند.

مقاومت ویژهٔ آلیاژها بیشتر از مقاومت‌ویژهٔ فلزات خالص است. به همین جهت در مواردی‌که احتیاج به مقاومت الکتریکی زیادتری است از آلیاژها برای ساختن سیمهای مقاومت‌دار استفاده می‌شود.

در جدول ۳-۱ مقاومت ویژهٔ چند فلز و در جدول ۳-۲ مقاومت ویژهٔ چندآلیاژدردمای‌معمولی داده شده است. بعضی از آلیاژها مانند کنستانتان[1]

جدول ۳-۱ ـ مقاومت ویژهٔ چند فلز در دمای معمولی

نام فلز	مقاومت ویژه بر حسب اهم متر	مقاومت یک متر از سیم به سطح مقطع یک میلیمتر مربع برحسب اهم
نقره	$1/6 \times 10^{-8}$	۰/۰۱۶
مس	۱/۷ —	۰/۰۱۷
آلومینیم	۲/۸ —	۰/۰۲۸
تنگستن	۵/۶ —	۰/۰۵۶
آهن	۹/۶ —	۰/۰۹۶
پلاتین	۱۰ —	۰/۱۰
سرب	۲۲ —	۰/۲۲
جیوه	۹۵ —	۰/۹۵

جدول ۳-۲ـ مقاومت ویژهٔ چند آلیاژ در دمای معمولی

نام آلیاژ	ترکیب درصد آلیاژ	مقاومت ویژه برحسب اهم متر
برنج	٪۶۰ تا ٪۷۰ مس٪۴۰تا٪۳۰ روی	5×10^{-8} تا 10×10^{-8}
کنستانتان	٪۶۰ مس ٪۴۰ نیکل	50×10^{-8}
مانگانین	٪۸۴ مس ٪۱۲ منگنز ٪۴ نیکل	۴۰ × —
فرونیکل	٪۷۵ آهن ٪۲۵ نیکل	۸۰ × —
نیکروم	٪۸۰ نیکل ٪۲۰ کروم	۱۱۰ × —

۱- Constantan

در ساختن وسایل الکتریکی مانند رئوستا به‌کار می‌روند. بعضی دیگر مانند مانگانین[1] برای ساختن مقاومتهای دقیق و استاندارد شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. آلیاژ نیکروم[2] درساختن سیمهای مقاومت‌دار اتو و اجاق الکتریکی به‌کار می‌رود زیرا این آلیاژ هنگامی‌که در اثر گرما سرخ می‌شود کمتر اکسید می‌گردد.

رئوستا

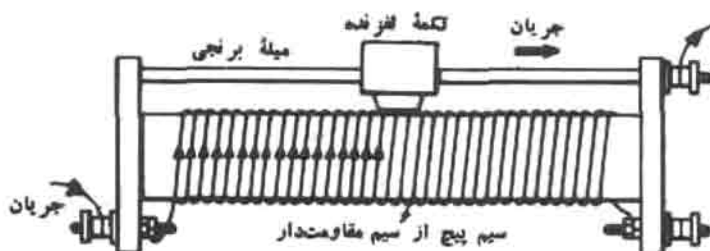
برای کم یازیاد کردن شدت جریان دریک‌مدار می‌توان طول یک‌سیم‌مقاومت دار راکه درمدارقرار دارد تغییر داد. این کار به‌کمک اسبابی به نام رئوستا انجام می‌شود. رئوستا را به شکلهای گوناگون می‌سازند. شکل ۳-۱۴ متداولترین نوع آن راکه در آزمایشگاهها به‌کار می‌رود نشان می‌دهد. این نوع رئوستا از یک سیم کنستانتان درازکه به شکل سیم‌پیچ روی استوانه‌ای از مادهٔ نارسانا پیچیده شده تشکیل یافته است ودگمهٔ فلزی لغزنده‌ای‌که برروی یک میلهٔ برنجی می لغزد با سیم‌پیچ تماس دارد. جریان الکتریسیته از یک سر سیم‌پیچ وارد آن‌می‌شود و از جایی‌که دگمه با سیم‌پیچ تماس دارد به میله وارد شده و پس از گذشتن از میله دوباره به مدار برمی‌گردد. مقاومتی‌که در مسیر جریان قرار می‌گیرد بستگی به جای دگمهٔ لغزنده در روی میله دارد.

پرسش ۳-۱۶ ــ با مراجعه به شکل ۳-۸ بگویید در چه‌وضعی‌ازدگمهٔ لغزندهٔ رئوستابیشترین مقاومت خود را دارد.

مقاومت درونی یک مولد و اهمیت آن در عمل

شدت جریانی‌که ازیک‌پیل یا از یک انباره گرفته می‌شودعلاوه برنیروی محرکهٔ پیل یا انباره به مقاومت درونی آن نیز بستگی دارد.

از یک مولد،که نیروی محرکهٔ آن مشخص است، در صورتی می‌توان شدت جریان قوی گرفت که مقاومت درونی آن تا حدی‌که ممکن است‌کم باشد. برای‌کم‌کردن مقاومت درونی پیل یا انباره سطح الکترودهای آن را تا ممکن است بزرگ می‌سازند و الکترودهارا نزدیک به هم قرارمی‌دهند و غلظت الکترولیت را نیز طوری انتخاب می‌کنند که مقاومت ویژهٔ آن تا حد امکان‌کم باشد.



شکل ۳-۱۴- رئوستای متداول درآزمایشگاه

1- Manganin   ۲- Nichrome

مقاومت درونی یك پیل لکلانشه در حدود یك یا دو اهم ونیروی محرکهٔ آن ۱/۵ ولت‌است. اگر دو قطب چنین پیلی را با یك سیم کلفت مسی که مقاومت آن ناچیز است به هم وصل کنیم،شدت جریان درسیم و در پیل ۱/۵ یا ۰/۷۵ آمپراست و چنین‌جریانی بی‌خطراست. حال‌فرض‌کنید دوقطب یك انبارهٔ سربی‌که نیروی محرکهٔ آن ۲ ولت و مقاومت درونی آن ۰/۰۱ اهم است با سیم کلفت مسی به هم متصل شود. شدت جریانی‌که از سیم‌و انباره می‌گذرد ۲۰۰ آمپر است. این جریان خیلی خطرناك است: سیم را آناً ذوب و بخار می‌کند و به انباره هم صدمه می‌زند.

در اتومبیلها، معمولا، ازیك باتری۱۲ ولتی (مرکب از شش‌واحد انبارهٔ سربی) استفاده‌می‌شود. زیرا برای به‌کارانداختن موتور (به وسیلهٔ استارت) شدت جریان زیادی لازم است و این شدت راباتری سربی‌که مقاومت درونی آن خیلی کم است تأمین می‌کند. ولی اگر به جای‌باتری سربی از هشت‌پیل خشك‌که نیروی محرکهٔ مجموع آنها (وقتی‌که به توالی هم بسته شوند) ۱۲ ولت است استفاده شود به علت زیاد بودن مقاومت درونیشان شدت جریان حاصل از آنهاکافی نخواهد بود و نمی‌توان با این مجموعه موتور اتومبیل را به‌کار انداخت.

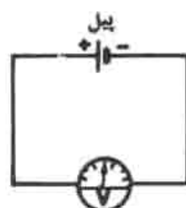
پرسش ۳-۱۷- اگر مقاومت درونی هر پیل خشك یك اهم و نیروی‌محرکهٔ هر یك ۱/۵ ولت باشد بیشترین شدت جریانی‌که از یك باتری‌مرکب از ۸ پیل خشك می‌توان گرفت چند آمپر است؟

افت پتانسیل وقتی‌که از پیل جریان‌گرفته می‌شود

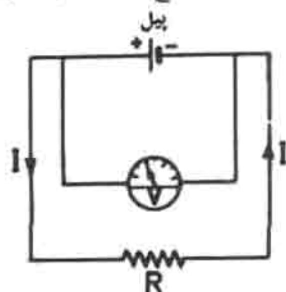
در آغاز این‌بخش ضمن تعریف نیروی‌محرکهٔ پیل گفتیم‌که درعمل برای تعیین نیروی محرکهٔ یك پیل ولت‌سنجی را که مقاومت آن خیلی زیاد است مستقیماً به دو قطب پیل‌وصل می‌کنند(شکل ۳-۱۵-الف) آنچه که ولت‌سنج در این حالت نشان می‌دهد خیلی نزدیك به نیروی محرکهٔ پیل است.

پرسش ۳-۱۸- چرا آنچه‌که ولت‌سنج دراین حالت نشان می‌دهد درست برابر نیروی محرکهٔ واقعی پیل نیست ولی خیلی نزدیك به آن است؟

فرض‌کنید ولت‌سنج به‌دو قطب یك‌پیل لکلانشه



الف- ولت‌سنجی‌که مقاومت آن خیلی زیاد است‌تقریباً نیروی محرکهٔ پیل را نشان‌می‌دهد (شدت جریان در آن‌ناچیز است).



ب- وقتی‌که دو قطب پیل با یك مقاومت به هم‌متصل می‌شود، به علت عبور جریان از درون مولد، اختلاف پتانسیل دو سر مولد افت پیدا می‌کند. ولت‌سنج ولت‌کمتری‌را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۵

که مقاومت درونی آن دو اهم است وصل شده و ۱/۵ ولت‌را نشان می‌دهد. این عدد تقریباً معادل نیروی محرکهٔ پیل است.

حال اگر بدون آن‌که ولت‌سنج برداشته‌شود یك مقاومت مثلا ۳ اهمی به دو سر پیل‌بسته شود (شکل۳-۱۵-ب) به طوری‌که از آن جریان بگذرد ولت‌سنج به جای ۱/۵ ولت ۰/۹ ولت را نشان خواهد داد. یعنی اختلاف پتانسیل بین دو قطب پیل به‌اندازهٔ ۰/۶ = ۰/۹ − ۱/۵ ولت افت‌نشان می‌دهد. علت این افت را می‌توان چنین بیان‌کرد: شدت جریان در مدار از رابطهٔ زیرحساب می‌شود:

$$\text{شدت جریان} = \frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{مقاومت کل}}$$

یا

$$I=\frac{E}{R+r} \qquad (۳-۱۴)$$

که در آن E نیروی محرکهٔ مولد و R مقاومت خارجی مدار و r مقاومت‌درونی پیل است. درمثال بالا: $I=\frac{1/5}{3+2}=0/3A$. بدیهی است اختلاف پتانسیل لازم برای فرستادن جریان $I = 0/3$ آمپر در مقاومت خارجی $R = 3$ اهم برابر است با:

$V = IR = 0/3 \times 3 = 0/9V$ و این‌همان است‌که ولت‌سنج (پس از بسته شدن مقاومت R به دو سر مولد) نشان می‌دهد. چون مقاومت سیمهای رابط، که دو قطب پیل را به دو سر مقاومت R ارتباط می‌دهند بسیارکوچك و ناچیز است اختلاف پتانسیل دو سرسیمهای رابط هم ناچیز و نزدیك به صفر است.

از طرف دیگر اختلاف پتانسیل لازم برای عبور دادن جریان ۰/۳ آمپر از درون مولد (به مقاومت $r = 2\Omega$) برابر است با:

$$\text{شدت جریان} \times \text{مقاومت درونی پیل} = 0/3 \times 2 = 0/6V$$

که در واقع برابر افت پتانسیل یعنی $E - V$ است.

به‌طور خلاصه:

هنگامی که از پیل‌جریانی گرفته نمی‌شودیعنی وقتی‌که مدار پیل باز است ولت‌سنجی‌که مستقیماً‌به دو قطب پیل وصل می‌شود تقریباً نیروی محرکهٔ پیل را نشان می‌دهد.

وقتی‌که دو قطب پیل به‌دو سر یك مقاومت خارجی R وصل می‌شود و از این مقاومت جریان I می‌گذرد، ولت‌سنج اختلاف پتانسیل $V = IR$ را که لازم است تا جریان I را از مقاومت R عبور دهد نشان می‌دهد. این اختلاف پتانسیل همواره از نیروی محرکهٔ مولدکوچکتر است و تفاضل این دو مقدار، یعنی $E - V$ افت پتانسیل نامیده می‌شود. افت پتانسیل در واقع معرف اختلاف پتانسیلی است که برای عبور جریان از مقاومت درونی مولدلازم است.

افت پتانسیل‌را نمی‌توان مستقیماً باولت‌سنج اندازه‌گرفت ولی می‌توان آن را حساب کرد. کافی است نیروی‌محرکه‌و اختلاف پتانسیل‌دو سرمقاومت خارجی را پس از اندازه‌گیری از هم‌کم‌کرد و اندازهٔ آن را به دست آورد.

اینك می‌توانیم بگوییم‌که چرا ولت‌سنجی‌که مستقیماً به‌دوقطب‌مولد بسته می‌شود مقدارتقریبی نیروی محرکه را نشان می‌دهد. علت این است که هر قدر هم مقاومت ولت‌سنج زیاد باشد باز، جریان خیلی کمی‌ازآن می‌گذرد وهمین‌جریان‌کم‌که ازدرون پیل می‌گذرد موجب افت بسیارکوچکی در نیروی

محرکه مولد می‌شود. اگر مقاومت ولت‌سنج نسبت به‌مقاومت درونی پیل خیلی بزرگ باشد شدت جریان خیلی کم و در نتیجه افت پتانسیل ناچیز است.

وقتی که پیلها را به‌طور متوالی به هم می‌بندند (یعنی قطب مثبت یکی را به قطب منفی دیگری وصل می‌کنند) یك باتری حاصل می‌شود که نیروی محرکهٔ آن برابر مجموع نیروهای محرکهٔ پیلها و مقاومت درونی آن نیز برابر مجموع مقاومتهای درونی پیلها می‌باشد. اگر مقاومت درونی هر یك از پیلها زیاد باشد و از مولد جریان نسبتاً زیادی گرفته شود افت پتانسیل قابل توجه است.

اگر n پیل یکسان را که هر یك دارای نیروی محرکهٔ E و مقاومت درونی r است به طور متوالی به هم ببندیم و دو قطب باتری حاصل را به دو سر مقاومت R وصل کنیم شدت جریان در مدار از رابطه زیر حساب می‌شود:

$$I=\frac{nE}{R+nr} \qquad (۱۵-۳)$$

زیرا نیروی محرکه مجموعه n پیل یکسان متوالی برابر است با nE و مقاومت درونی مجموعه آنها برابر است با nr.

چند مثال

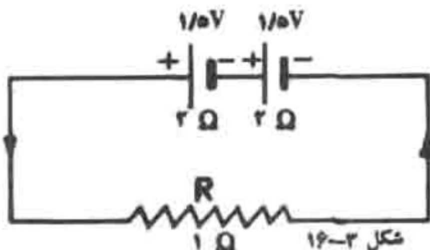
۱- دو پیل که هریك دارای نیروی محرکهٔ ۱/۵ ولت و مقاومت درونی ۲ اهم است به طور متوالی به هم بسته شده‌اند. اگر قطبهای این مجموعه با مقاومت یك اهمی به هم اتصال یابند شدت جریان در این مقاومت چند آمپر است؟

- شکل ۳-۱۶ وضع چنین مداری را نشان می‌دهد.

نیروی محرکهٔ دو پیل متوالی = ۱/۵ + ۱/۵ = ۳V

مقاومت کل مدار = ۲ + ۲ + ۱ = ۵Ω

$$\text{شدت جریان} = \frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{مقاومت کل}} = \frac{۳}{۵} = ۰/۶A$$



شکل ۳-۱۶

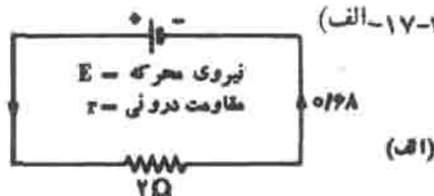
۲- پیلی در یك مقاومت ۲ اهمی جریانی به شدت ۰/۶ آمپر و در یك مقاومت ۷ اهمی جریانی به شدت ۰/۲ آمپر می‌فرستد. نیروی محرکه و مقاومت درونی این پیل را حساب کنید.

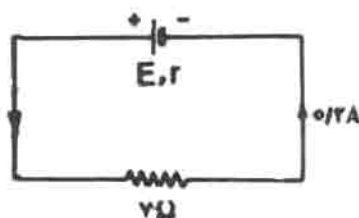
- در این مثال باید دو کمیت نیروی محرکه و مقاومت درونی پیل را حساب کنیم. بنابراین باید دو معادله بنویسیم و آنها را با هم حل کنیم.

اگر نیروی محرکهٔ پیل را به E و مقاومت خارج را به R و مقاومت درونی پیل را به r نمایش دهیم طبق رابطهٔ $E=I(R+r)$ داریم:

در حالت اول: (۱) $E=۰/۶(۲+r)$

(شکل ۳-۱۷-الف)





شکل ۳-۱۷

در حالت دوم: (۲) $E=۰/۲(۷+r)$

(شکل ۳-۱۷-ب)

چون طرف اول این دو معادله هر دو یکی است طرف دوم آنها را نیز مساوی هم می‌گیریم:

$$۰/۶(۲+r)=۰/۲(۷+r)$$

یا: $۱/۲+۰/۶r=۱/۴+۰/۲r$

یا: $۰/۴r=۰/۲$

یا: $r=\frac{۰/۲}{۰/۴}=۰/۵\Omega$

این مقدار را در معادلهٔ (۱) قرار می‌دهیم و E را حساب می‌کنیم:

$$E=۰/۶(۲+۰/۵)=۱/۵V$$

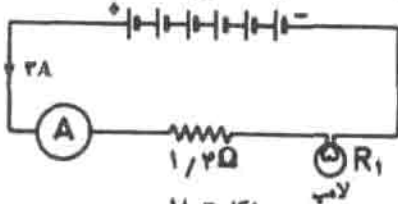
بنابراین نیروی محرکهٔ پیل ۱/۵ ولت و مقاومت درونی آن ۰/۵ اهم است.

۳- ۶ پیل که هر یک دارای نیروی محرکهٔ ۲ ولت و مقاومت درونی ۰/۱ اهم است به طور متوالی به هم بسته شده و یک باتری تشکیل داده‌اند. به دو قطب این باتری، یک آمپرسنج به مقاومت ناچیز و یک مقاومت ۱/۴ اهمی و یک لامپ کوچک (مطابق شکل ۳-۱۸) به طور متوالی بسته شده است و آمپرسنج شدت جریان ۳ آمپر را نشان می‌دهد.

الف- مقاومت لامپ را حساب کنید.

ب- اختلاف پتانسیل دوسر لامپ را پیدا کنید.

ج- اگر در این حالت ولت‌سنجی که مقاومت درونی آن خیلی زیاد است به دو قطب باتری بسته شود چه اختلاف پتانسیلی را نشان خواهد داد؟



شکل ۳-۱۸

الف- فرض می‌کنیم R_1 نمایش مقاومت لامپ باشد. مقاومت کل مدار برابر است با:

$$(۶\times۰/۱)+۱/۴+R_1=۲+R_1$$

نیروی محرکهٔ باتری برابر است با:

$$(۶\times۲)=۱۲V$$

چون: $\text{مقاومت کل مدار}=\frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{شدت جریان}}$

بنابراین: $۲+R_1=\frac{۱۲}{۳}=۴$

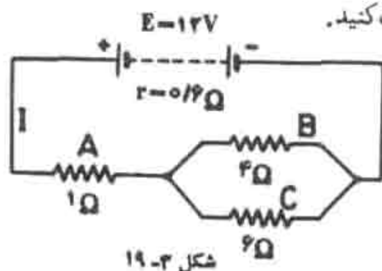
و $R_1=۴-۲=۲\Omega$

ب- اختلاف پتانسیل دوسر لامپ چنین حساب می‌شود: $V_1=IR_1=۳\times۲=۶V$

ج- ولت‌سنجی که به دو قطب باتری بسته می‌شود اختلاف پتانسیلی را نشان می‌دهد که لازم است تا جریانی به شدت ۳ آمپر در مقاومت خارجی مدار (که برابر $۱/۴+۲=۳/۴$ اهم است) برقرار سازد. بنابراین طبق رابطهٔ $V=IR$ خواهیم داشت:

$$V=۳\times۳/۴=۱۰/۲V$$

۴- شکل ۳-۱۹ یک باتری ۱۲ ولتی را نشان می‌دهد که مقاومت درونی آن ۰/۶ اهم است و دو قطب آن به سه مقاومت A و B و C متصل شده است. شدت جریان را در هر یک از این مقاومتها حساب کنید.



شکل ۳-۱۹

- مقاومت معادل دو مقاومت B و C چنین حساب می‌شود:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{4}+\frac{1}{6}=\frac{6+4}{24}=\frac{10}{24}$$

و $R=\frac{24}{10}=2/4\Omega$

مقاومت‌کل مدار برابر است با:

$0/6+1+2/4=4\Omega$

= شدت جریان اصلی (در مقاومت A)

$\frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{مقاومت کل}}=\frac{12}{4}=3A$

= اختلاف پتانسیل دوسر مقاومتهای B و C

= مقاومت معادل × شدت جریان کل

$3\times 2/4=7/2V$

$\frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مقاومت B}}=$ شدت جریان در مقاومت B

$\frac{7/2}{4}=1/8A$

$\frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مقاومت C}}=$ شدت جریان در مقاومت C

$\frac{7/2}{6}=1/2A$

خودتان آزمایش کنید

۱) **طرزکار یك پیل ساده را بررسی کنید.** دو تیغهٔ مس و روی را در یك بشر (یا در یك‌لیوان شیشه‌ای) که درآن محلول اسید سولفوریك خیلی رقیق ریخته‌اید قرار دهید به‌طوری که تیغه‌ها به‌هم اتصال پیدا نکنند؛ به این ترتیب یك پیل ولتا خواهید داشت. اگر تیغه‌های مس و روی با هم اتصال پیدا نکنند اثری از حبابهای ئیدروژن برسطح تیغهٔ مس مشاهده نمی‌شود. ولی ممکن است به علت اثر موضعی، برسطح تیغهٔ روی حبابهای ئیدروژن تشکیل شود. اگر چنین حبابهایی مشاهده شد یك قطره جیوه را با یك تکه پنبه، چنان‌که گفته شد، بر سطح این تیغه بمالید. دوقطب این پیل‌را به‌وسیلهٔ سیمهای رابط به یك‌کلید ویك یا دولامپ کوچك‌دوولتی وصل‌کنید وکلید را باز نگاه دارید. سپس‌ولت سنجی را به دو قطب پیل ببندید. این ولت سنج نیروی‌محرکهٔ پیل را درحدود یك ولت نشان می‌دهد. کلید را ببندید. لامپ روشن‌می‌شود ولی روشنایی آن به سرعت ضعیف می‌گردد و درضمن اختلاف پتانسیل دو سر پیل‌که روی‌ولت ـ سنج خوانده می‌شودکاهش می‌یابد. از لحظه‌ای که‌کلید را می‌بندید در زمانهای متوالی‌ومساوی مثلا هر نیم دقیقه به نیم دقیقه اختلاف پتانسیل دو سر پیل را روی ولت‌سنج بخوانید و یادداشت‌کنید تا این‌که عقربهٔ ولت سنج در وضع نهایی خود ثابت بماند. روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری دو محور عمود برهم رسم‌کنید و روی محور افقی زمان را و روی محور عمود برآن اختلاف پتانسیل دو سر پیل را ببرید و نمودارکاهش اختلاف پتانسیل دوسر پیل را با گذشت زمان (یعنی نمودار پلاریزاسیون پیل را) رسم‌کنید.

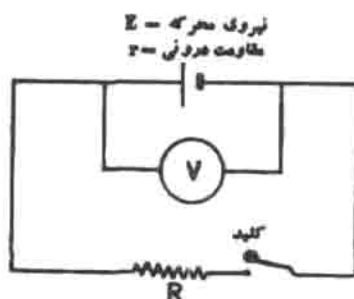
برای این‌که پیل دوباره به‌کار افتد تیغهٔ مس را از محلول اسید بیرون بیاورید و سطح

آن را با یك قطعه پارچهٔ تمیز یا با یك برس معمولی پـاك کنید و دوباره‌درمحلول‌بگذارید و آزمایش را تکرار کنید (درصورتی‌که اختلاف پتانسیل دو سرپیل خیلی زود پایین آید به‌طوری که مجال مطالعهٔ تغییرات‌آن‌نباشد به جای لامپ دوولتی مقاومت بزرگتری به‌دوسرپیل‌ببندید).

در حالی‌که روشنایی لامپ خیلی‌کم شده و اختلاف‌پتانسیل دو سر پیل‌کاهش یافته است مقدار کمی بیکرومات پتاسیم به‌محلول اسید اضافه کنید: حبابهای ئیدروژن اطراف تیغهٔ مس برطرف‌می‌شوند و اختلاف پتانسیل دو سر پیل به وضع اول خود برمی‌گردد و لامپ روشنی طبیعی خود را باز می‌یابد. علت را توضیح دهید.

۲) **مقاومت درونی یك پیل را اندازه بگیرید**ـ پیل خشك تازه‌ای را انتخاب‌کنید ویك ولتسنج به قطبهای آن وصل‌کنید و درجه‌ای راکه ولتسنج نشان می‌دهد یادداشـت نمایید. آنچه ولتسنج در این حالت نشان می‌دهد تقریباً نیروی محرکهٔ پیل اسـت. علت انتخاب پیل خشك تازه‌این‌است‌که در مدت‌آزمایش‌پلاریزه نمی‌شود زیرا اگر پیل پلاریزه شود نتیجهٔ‌مطلوب به دست نخواهد آمد. یك مقاومت استاندارد (مثلا یك اهمی) را با سیمهای رابط (که مقاومت آنها ناچیز است) به دو قطب پیل اتصال دهید (شکل ۳-۲۰) و در این حالت اختلاف‌پتانسیل دوسر پیل را روی ولتسنج بخوانید و یادداشت‌کنید. این آزمایش را با مقاومتهای استاندارد دیگری (مثلا ۲ و ۳ و ۴ و... اهمی) تکرارکنید و هر بار اختلاف پتانسیل دو سر پیل‌راروی ولتسنج بخوانید و در جدولی مانند جدول زیر یادداشت‌کنید:

نیروی محرکهٔ پیل .....=E ولت		
مقاومت R (اهم)	آنچه ولتسنج نشان می‌دهد (V) (ولت)	مقاومت درونی پیل (اهم) $r=R\frac{E-V}{V}$
۱ ۲ ۳ . . .		
اندازهٔ میانگین مقاومت درونی		.....اهم



شکل ۳-۲۰- اندازه‌گیری مقاومت درونی پیل

مقاومت درونی پیل را به ترتیب زیر حساب‌کنید:

E = نیروی محرکهٔ پیل

V = اختلاف پتانسیل بین دو قطب پیل وقتی‌که در مقاومت R جریان برقرار شود

r = مقاومت درونی پیل.

چون مقاومت ولت‌سنج خیلی زیاد است شدت جریانی‌که از آن می‌گذرد ناچیز است، بنابراین می‌توان گفت‌که شدت جریان در مقاومت خارجی R و در پیل تقریباً با هم برابراست و اندازهٔ آن برابر است با:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (1)$$

یا

$$I = \frac{E - V}{r} \qquad (2)$$

$E - V$ افت پتانسیل‌درون پیل است. به عبارت دیگر اختلاف پتانسیلی است‌که جریان I را از درون مولد عبور می‌دهد. بنابراین: $\frac{V}{R} = \frac{E - V}{r}$

و از آنجا:

$$r = \frac{R(E - V)}{V}$$

در هر بارآزمایش، r را از این رابطه حساب‌کنید و میانگین آنها را به دست آورید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) جریان پیوسته یعنی چه؟ اگر دوکرهٔ فلزی‌که هردو روی پایهٔ نارسانا قرار دارند و یکی دارای بار مثبت و دیگری دارای بار منفی است با یك رشته سیم به هم وصل شوند آیا جریان‌الکتریسیتهٔ دائمی در سیم برقرار خواهدشد؟ اگرهردوکره بارمثبت‌به‌مقدار مساوی‌داشته باشند آیا در سیم جریان برقرار خواهد شد؟ دربارهٔ جوابهای خود توضیح دهید.

۲) الف- طرزکار یك پیل ساده (مثلا پیل ولتا) را شرح دهید.

ب- در چه صورت‌یك پیل می‌تواند جریان پایداری در یك سیم، که دو قطب آن را به هم وصل می‌کند، برقرار سازد.

۳) در یك پیل شیمیایی انرژی‌که‌برای ثابت نگاه داشتن اختلاف پتانسیل میان دو قطب لازم است ازکجا تأمین می‌شود؟

۴) مداری از یك باتری و یك لامپ و یك‌کلید تشکیل یافته است:

الف- توضیح دهید چرا وقتی‌که‌کلید باز است جریان از مدار نمی‌گذرد.

ب- وقتی که کلید بسته می‌شود مسیر کامل و جهت حرکت الکترونها چگونه است؟

ج- جهت قراردادی جریان چیست؟

۵) اصطلاحات «پلاریزاسیون» و «اثر موضعی» را شرح دهید.

چگونه می‌توان این عیبها را در یك پیل برطرف کرد؟

۶) دو تیغه یکی از مس و دیگری ازروی را به وسیلهٔ سیمهای رابط کوتاه به دو سر یك لامپ الکتریکی کوچك وصل می‌کنیم و آنها را درون یك بشر، درمحلول رقیق اسیدسولفوریك می‌گذاریم لامپ روشن می‌شود ولی پس ازمدت کوتاهی خاموش می‌گردد. علت راتوضیح دهید.

دوروش را بیان کنید که با به‌کاربردن آنها بتوان دوباره لامپ را به صورت روشن درآورد.

۷) شکل ساده‌ای از یك پیل لکلانشه رسم کنید و اجزای آن را شرح دهید.

۸) دوتا از مزیتهای انبارهٔ سربی برپیل لکلانشه را نام ببرید.

۹) منظور از پرکردن یك انبارهٔ سربی چیست؟ وقتی که یك انبارهٔ سربی کاملاً پر می‌شود، صفحه‌های قطب مثبت و قطب منفی آن را چه موادی تشکیل می‌دهند؟ وقتی که انباره خالی می‌شود جنس این صفحه‌ها به چه ماده‌ای تبدیل می‌گردد؟

۱۰) تعریف نیروی محرکهٔ یك پیل چیست؟

یك باتری از سه انبارهٔ سربی ۲ ولتی متوالی وباتری دیگری از چهار پیل خشك ۱/۵ ولتی متوالی تشکیل یافته است. نیروی محرکهٔ هر باتری چند ولت است؟ چرا از باتری‌سربی شدت جریان زیادتری می‌توانید بگیرید؟

۱۱) روی کاغذ میلیمتری (یا شطرنجی) دومحورعمود برهم بکشید. زمان را روی محورافقی و نیروی محرکه هرواحد انباره سربی را روی محورعمودی ببرید وبا توجه به مطالبی که درباره انباره سربی درمتن درس آموخته‌اید نموداری رسم کنید که تغییرات نیروی محرکه انباره را باگذشت زمان، ازموقعی که انباره کاملا پرمی‌شود تا وقتی که خالی شده تلقی می‌گردد، نشان دهد.

۱۲) وقتی یك باتری سربی کهنه می‌شود مقاومت درونی آن افزایش می‌یابد. دراین حالت دربیشترین شدت جریانی که از باتری می‌توان گرفت و همچنین در اختلاف پتانسیل میان دو قطب باتری چه تغییری روی می‌دهد؟

۱۳) قانون اهم رابیان کنید. چگونه می‌توانید بااستفاده از این قانون، مقاومت الکتریکی را تعریف کنید؟ با رسم شکل نشان دهید که دو مقاومت را به طور متوالی یا به طور موازی به‌هم بسته‌اید.

۱۴) اگر سه مقاومت یك اهمی در اختیار داشته باشید با آنها چه مقاومتهایی را می‌توانید به دست آورید؟

۱۵) اختلاف پتانسیل دوسر سیمی را به تدریج افزایش می‌دهیم:

الف- اگر دمای‌سیم ثابت بماند چه‌تغییری در جریانی که‌ازسیم‌می گذرد صورت می گیرد؟

ب- در این حالت، نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان چه نامیده می‌شود؟ آیا این نسبت ثابت است یا تغییر می کند؟

۱۶) در میان فلزهایی که‌می‌شناسید مقاومت ویژهٔ کدام فلز کمتر است؟ از این فلز درچه مواردی استفاده می‌شود؟ فلز یا آلیاژی را نام ببریدکه مقاومت ویژهٔ آن زیاد است. از این فلز یا آلیاژ در چه مواردی استفاده می‌شود؟

۱۷) فرض کنید که می‌خواهید مقاومت مجهولی را اندازه بگیرید و این وسایل را در اختیار دارید:

یك پیل یا یك انبارهٔ سربی، آمپرسنج، ولت‌سنج، رئوستا، کلید و سیمهای رابط.

با رسم شکل، طرحی را نمایش دهیدکه با این وسایل بتوان مقاومت مجهول را اندازه گرفت. آیا روشی راکه انتخاب می‌کنید نتیجهٔ دقیق به دست می‌دهد؟

۱۸) چرا آمپرسنج راکم مقاومت و ولت‌سنج را پرمقاومت می‌سازند؟

۱۹) با یك‌پیل‌خشك‌لامپ کوچکی راروشن کرده‌ایم. اگر به جای این پیل، مولد دیگری قرار دهیم که‌نیروی محرکه‌اش‌برابر نیروی محرکهٔ پیل‌ولی مقاومت درونیش‌کمتر باشد اختلاف پتانسیل میان دوقطب آن نسبت به اختلاف پتانسیل میان دو قطب پیل:

۱- کمتر می‌شود

۲- زیادتر می‌شود

۳- تغییر نمی‌کند

در بارهٔ جواب درست این پرسش توضیح دهید.

۲۰) چندلامپ برق را به طور موازی به دو قطب یك باتری‌بسته‌ایم وهر لامپ‌باکلیدی همراه است. ولت‌سنجی نیز به دو قطب باتری متصل است. اگر تعداد بیشتری از لامپها را روشن کنیم، اختلاف پتانسیلی که روی ولت‌سنج خوانده می‌شود:

۱- کمتر خواهد شد

۲- بیشتر خواهد شد

۳- تغییر نخواهدکرد

دربارهٔ جواب درست توضیح دهید.

۲۱) لامپی با یك باتری روشن شده است. دانش‌آموزی که می‌خواهد اختلاف پتانسیل دو سر لامپ را اندازه بگیرد ولت‌سنج رااشتباهاً به‌طور متوالی با لامپ در مدار قرار می‌دهد. در این صورت:

الف- چه اثری در روشنایی لامپ ظاهر می‌شود؟

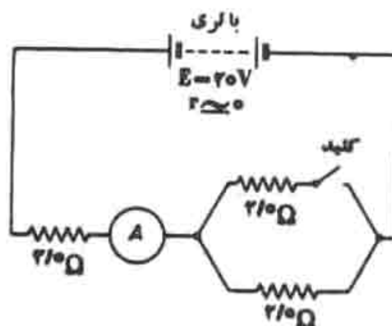
ب- ولتسنج چه ولتی را نشان می‌دهد؟

۲۲) به هم بستن موازی ومتوالی مقاومتها وخازنها را با هم مقابسه‌کنید .آیا وجه تشابهی بین کاپاسیتانس خازن و کندوکتانس مقاومت دراین به هم بستنها مشاهده می‌کنید ؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) نیروی محرکهٔ پیلی ۱/۵ ولت و مقاومت درونی پیل ۱ اهم است. این پیل را با سیمهای بدون مقاومت به‌دو مقاومت ۲ اهمی و ۳ اهمی که به طور متوالی به هم بسته‌شده‌اند می‌بندیم. شدت جریان در مدار را واختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ مقاومتها را حساب‌کنید.

۲) در شکل ۳-۲۱ اگرکلید باز باشد آمپرسنج چند آمپر را نشان می‌دهد؟ اگـر کلید بسته شود آمپرسنج چند آمپر را نشان خواهد داد؟ مقاومت درونی باتری ناچیز است.



شکل ۳-۲۱

۳) ولتسنجی که مقاومت آن خیلی زیاد است به دوقطب پیلی‌بسته شده است و۱/۵ ولت را نشان می‌دهد. هنگامی‌که از پیل جریانی به شدت ۰/۵ آمپر گرفته می‌شود ولتسنج ۱/۲ ولت‌را نشان‌می‌دهد.

الف- توضیح دهید چرا ولتسنج در این حالت‌کمتر از ۱/۵ ولت نشان می‌دهد.

ب- اگر از پیل جریان ۰/۶ آمپر گرفته شود ولتسنج چه‌ولتی را نشان خواهد داد؟

۴) دو مقاومت ۴ اهمی و ۶ اهمی را با هم به طور موازی بسته و مجموعهٔ آنها رابه دوقطب یك‌باتری مرکب از۴ پیل خشك ۱/۵ ولتی‌می‌بندیم. اگر شدت جریان در مقاومت ۴ اهمی ۰/۶ آمپر باشد در مقاومت ۶ اهمی چند آمپر است؟ مقاومت درونی باتری را حساب

کنید. شکل مدار را رسم نمایید.

۵) دو مقاومت ۲ اهمی را اگر به‌طور موازی به‌هم ببندیم و مجموعه را به‌دو قطب پیلی وصل کنیم شدت جریان کل ۱/۲ آمپر از آنها می‌گذرد ولی اگر این مقاومتها را به طور متوالی به هم ببندیم و به دو قطب پیل وصل کنیم شدت جریان ۰/۴ آمپر از آنها می‌گذرد. نیروی محرکهٔ پیل و مقاومت درونی آن را حساب کنید.

۶) مقاومت یك رشته‌سیم به‌طول ۱۱۰ سانتیمتر و به‌سطح‌مقطع $۴/۱۵ \times ۱۰^{-۳}$ سانتیمتر مربع ۱/۳۲ اهم است. مقاومت ویژهٔ ماده‌ای که‌سیم راتشکیل داده استچند اهم سانتیمتراست؟

۷) قطر یك سیم مسی یك میلیمتر است. چه طولی از این سیم را باید انتخاب‌کنیم تا مقاومت آن یك اهم بشود؟

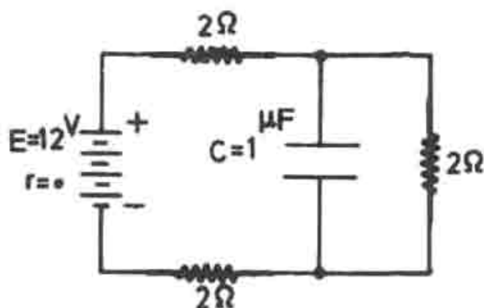
۸) یك میلی آمپرسنج که مقاومت آن ۴۰ اهم است حداکثر تا ۲ میلی آمپر را اندازه می‌گیرد. هنگامی که حداکثرشدت جریان ازآن می‌گذرد اختلاف پتانسیل دوسرآن چندولت‌است؟ چگونه می‌توان آن‌را به‌یك ولتمتر تبدیل کرد؟

۹) ولت‌سنجی حداکثر تا ۱۰ ولت را اندازه می‌گیرد و مقاومت الکتریکی‌آن ۱۰۰ اهم است، چگونه می‌توان این ولت‌سنج‌را حداکثر برای سنجش ۱۰۰ ولت به‌کار برد؟

۱۰) آمپرسنجی حداکثر تا ۱۵ میلی‌آمپررا اندازه می‌گیرد ومقاومت آن ۵ اهم است. می‌خواهیم‌با این‌آمپرسنج جریانی‌به‌شدت ۱/۵آمپررا اندازه بگیریم و برای این منظورمقاومت کوچکی را به‌طور موازی به‌دوسرآمپرسنج می‌بندیم. در نتیجه جریان اصلی بین این مقاومت و آمپرسنج تقسیم می‌شود. اندازهٔ این مقاومت چه باید باشد تا عقربه حداکثر انحراف را داشته باشد؟

۱۱) در مدار شکل (۳ـ۲۲) بار الکتریکی روی خازن $C = ۱\mu F$ را حساب‌کنید. مشخصات مدار روی شکل نوشته شده است.

جواب: ۴ میکروکولن



شکل (۳ـ۲۲)

پاسخ به پرسشهای متن

۳-۱) می‌توانیم تصور کنیم که یونهای $Zn^{۲+}$ در محلول، جذب یونهای $SO_۴^{۲-}$ می‌شوند. از نظر واکنشهای شیمیایی می گوییم که روی در محلول اسید سولفوریك حل می‌شود و سولفات روی به دست می‌آید.

۳-۲) تشکیل یك لایه ئیدروژن بر سطح تیغهٔ مس سبب می‌شود که تماس مس با الکترولیت به تدریج قطع شود، به عبارت دیگر، الکترود عوض شود یعنی به جای الکترود مس، الکترود ئیدروژن بـا الکترولیت در تماس باشد و در نتیجه نیروی محرکهٔ پیل کاهش یابد. علاوه براین، لایهٔ ئیدروژن که نارساناست سبب می‌شود که مقاومت درونی پیل افزایش یابد.

۳-۳) دو راه:

یکی این که مرتباً تیغهٔ مس رااز الکترولیت بیرون بیاوریم و سطح آن را با پارچهٔ ضخیم یا با برس پاك کنیم. بدیهی است ادامهٔ این کار خسته کننده است و به زحمتش نمی ارزد. دوم این که یك جسم اکسید کننده مانند بیکرومات پتاسیم به الکترولیت اسید اضافه کنیم ئیدروژن توسط این جسم اکسید شده و آب تولید می‌کند.

۳-۴) بی‌اکسید منگنز سبب می‌شود که ئیدروژن اکسید شـود و آب تولید گـردد. ولی عمل اکسید شدن ئیدروژن دائمی نیست و به تدریج نیروی محرکهٔ پیل (به هنگام استفاده از آن) کاهش می‌یابد. برای این که پیل نیروی محرکهٔ اولیهٔ خود را باز یابد باید مدت کوتاهی مدار آن راباز گذاشت.

۳-۵) ۸۰ ساعت.

۳-۶) ۳۶۰۰ کولن. زیرا که یك ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است.

۳-۷) اگر تعداد الکترونهای لازم را به n نمایش دهیم خواهیم داشت:

$$Q = ne = ۱C$$

و

$$n = \frac{۱}{e} = \frac{۱}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = \frac{۱۰^{۱۹}}{۱/۶} \simeq ۶/۲ \times ۱۰^{۱۸}$$

۳-۸) این کار برابر است با:

$$W = VQ = ۱۰۰V \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۰}C = ۱/۶ \times ۱۰^{-۸}J$$

این‌کار $۱۰^{۱۱}$ ، یعنی ۱۰۰ میلیارد برابر الکترون ولت است که در بخش ۲ با آن آشنا شدید.

۳-۹) در مولدهای شیمیایی از انرژی شیمیایی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی درون مولد.

۳-۱۰) نه، زیرا نیروی محرکهٔ مولد در واقع انرژی محرکهٔ مولد است ولی چون از ابتدا چنین نامگذاری شده است این نام به همین صورت تاکنون به‌کار رفته است.

۳-۱۱) $\frac{6V}{10\Omega}=0/6A=$ $\frac{\text{اختلاف پتانسیل}}{\text{مقاومت}}=$ شدت جریان

۳-۱۲) بلی. موقعی که روشن است مقاومت آن بیشتر است.

۳-۱۳) به وسیلهٔ آمپرسنج، کافی است در مدار اصلی و در هریك از شاخه‌ها یك آمپرسنج قرار داده شود.

۳-۱۴) مقاومت معادل دو مقاومت $R_1=12\Omega$ و $R_2=24\Omega$ چنین حساب می‌شود:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}=\frac{1}{12}+\frac{1}{24}=\frac{2+1}{24}=\frac{3}{24}$$

و

$$R=\frac{24}{3}=8\Omega$$

۳-۱۵) داریم:

$$R=\rho\frac{l}{A}$$

به‌ازای: $l=1m$ و $A=1mm^2=1\times10^{-6}m^2$ و $\rho=110\times10^{-8}\Omega.m$

داریم:

$$R=110\times10^{-8}\times\frac{1}{1\times10^{-6}}=1/10\Omega$$

۳-۱۶) وقتی که دگمهٔ لغزنده در قسمت انتهایی طرف راست رئوستا قرار می‌گیرد و در این حال تمام طول سیم رئوستا در مسیر جریان است.

۳-۱۷) داریم:

$$\text{شدت جریان}=\frac{\text{نیروی محرکه}}{\text{مقاومت کل}}$$

اگر E نیروی محرکهٔ هر پیل و r مقاومت درونی آن باشد:

$8E=$ نیروی محرکهٔ باتری

$8r=$ مقاومت درونی باتری

و

$$I=\frac{8E}{R+8r}$$

(R مقاومت خارجی مدار است.)

شدت جریان در صورتی بیشترین مقدار را دارد که $R=0$ باشد یعنی دو قطب باتری با سیم بدون مقاومت به هم وصل شوند. بنابراین:

$$I_{Max}=\frac{8E}{8r}=\frac{E}{r}=\frac{1/5}{1}=1/5A$$

۳-۱۸) زیرا مقاومت ولت‌سنج هر قدرهم بزرگ باشد باز شدت جریان کمی از آن می‌گذرد چون این جریان از درون مولد هم می‌گذرد موجب افت کوچکی در نیروی محرکهٔ مولد می‌شود.

۴

الکترولیز
یا تجزیه شیمیایی به وسیله جریان برق

نقش مؤثر الکتریسیته در زندگی پیشرفته امروز مدیون آثار شیمیایی وگرمایی ومغناطیسی آن‌است. الکتریسیته درصنایع شیمیایی نقش بزرگ و مؤثری دارد و الکتروشیمی بخش مهمی از دانش شیمی را تشکیل می‌دهد. تجزیه مواد شیمیایی به وسیله جریان برق الکترولیز نامیده می‌شود. کشف پدیده الکترولیز نخستین بار توسط یك محقق انگلیسی به نام آنتونی‌کارلایل[1] ضمن مطالعه روی پیل ولتا (که تازه خبراختراع آن منتشرشده بود) صورت‌گرفت، سپس‌این محقق باهمکاری محقق دیگری به نام ویلیام نیکولسون[2] آب‌آغشته به چند قطره اسید سولفوریك را به اکسیژن وئیدروژن تجزیه کرد. چند سال بعد سر ـ همفری دیوی[3] با استفاده از این روش، فلزات سدیم و پتاسیم را با عبوردادن جریان برق از ئیدراکسیدهای مذاب سدیم و پتاسیم به طور خالص به دست‌آورد. به دنبال‌کاراین دانشمندان تحقیقات فارادی در این زمینه، منجر به وضع قوانین الکترولیز شد.

دراین بخش ما به اختصار به شرح الکترولیز وآثارآن می ـ پردازیم ودر بخشهای بعدآثارگرمایی ومغناطیسی جریان برق را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

اثر شیمیایی جریان برق

در بخش ۳ دیدیم که وقتی دوقطب یك مولد شیمیایی باسیمی به‌هم‌متصل‌می‌شود،جریان‌الکتریسیته، هم در سیم و هم‌درمحلول‌درون پیل برقرار می‌شود و هنگام گذشتن‌جریان ازمحلول، یك‌رشته‌واکنشهای شیمیایی صورت می گیرد. بنابراین الکتریسیته‌همان

۱- Anthony Carlisle
۲- William Nicholson
۳- Sir Humphry Davy (۱۷۷۸-۱۸۲۹ م) شیمی‌دان و مخترع معروف انگلیسی.

طورکه از مواد جامد رسانا می‌گذرد از بعضی مایعات هم عبور می‌کند ومایعات هم مانندجامدات در مقابل عبور جریان به دو دستهٔ رسانا و نارسانا تقسیم می‌شوند.

عبور الکتریسیته از یك مایع همواره با مجموعه‌ای ازواکنشهای شیمیایی همراه است وعمل تجزیهٔشیمیایی به وسیلهٔ جریان برق الکترولیزنامیده می‌شود.

الکترولیز واصطلاحات آنـ اصطلاحات الکترولیز، در زمان فارادی[1] دانشمند انگلیسی وضع شده و هنوز هم به‌کار می‌روند.

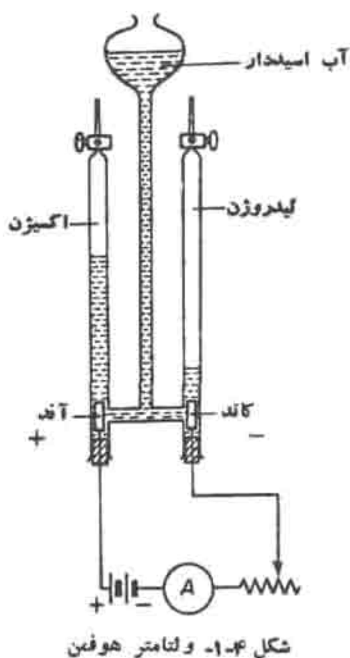
ماده‌ای‌که جریان برق را هدایت‌کرده و در اثر عبور جریان‌تجزیه‌می‌شود، الکترولیت نام‌دارد. اصطلاح الکترولیت را برای محلول الکترولیت در آب نیز به‌کار می‌برند.

دو تیغه یا دو صفحه‌ای‌که توسط آنهاجریان برق به الکترولیت وارد و از آن خارج می‌شود الکترود نامیده می‌شود. الکترودی که توسط آن جریان وارد الکترولیت می‌شود(آنُد) والکترودی که جریان توسط آن از الکترولیت خارج‌می‌شود (کاتُد) نام دارد.

پرسش۴ـ۵ـ آند وکاتد هریك به‌کدام قطب مولد ارتباط دارند؟

ظرف‌محتوی الکترولیت‌راکه عمل‌الکترولیز در آن انجام‌می‌شود ظرف الکترولیز یا ولتامترنامند. کلمهٔ ولتامتر را نباید با ولتمترکه وسیلهٔ سنجش اختلاف پتانسیل است اشتباه‌کرد.

شکل(۴ـ۱)،یك‌نوع ولتامتر را نشان‌می‌دهد که توسط هوفمن[2] شیمی‌دان آلمانی طرح‌ریزی شده است‌وبرای‌جمع‌آوری گازهایی که‌ضمن‌عمل الکترولیز



شکل ۴ـ۱ـ ولتامتر هوفمن

مایعات مختلف‌درالکترودها متصاعدمی‌شوندمناسب است. این ولتامتر دارای‌دولولهٔ مدرج شیردار است که مجهز به الکترودهای پلاتین هستند. مایع را از مخزنی‌که وسط دولوله است در ولتامتر می‌ریزند. مثلا اگر منظور تجزیهٔ آب بـه‌گازهای اکسیژن و ئیدروژن باشد، ابتدا دو شیر را باز می‌گذارند و آب راکه چند قطره اسید سولفوریك بـه آن اضافه کرده‌اند در مخزن می‌ریزند تا لوله‌هاکاملا از آب پر شوند سپس شیرها را می‌بندند و جریان‌راتوسط

۱-Michael Faraday (۱۷۹۱-۱۸۶۷ م)

۲- Hofmann

یك باتری ۶ ولتی که با رئوستا به طور متوالی بسته می‌شود در ولتامتر برقرار می‌سازند و شدت جریان را با رئوستاطوری تنظیم می‌کنندکه‌حبابهای اکسیژن و ئیدروژن در اطراف الکترودها متصاعد شوند. وقتی که گاز اکسیژن و ئیدروژن در لوله‌ها جمع شد مشاهده می‌شود که حجم ئیدروژن در کاتد تقریباً دو برابر حجم اکسیژن در آند است.

چگونگی‌عبورجریان از الکترولیت(فرضیهٔ یونی)ـ گفتیم که در فلزات عبور جریان الکتریسیته فقط‌به صورت حرکت الکترونهاست‌که دارای بار منفی هستند ولی دریك الکترولیت عبور جریان‌به‌صورت ذرات باردار مثبت‌و منفی به نام یون است که‌درون الکترولیت در خلاف جهت یکدیگر حرکت‌می‌کنند و می‌دانیدکه یون یك اتم‌یا مجموعه‌ای از چنداتم است که دارای بار الکتریکی‌مثبت یا منفی می‌باشد. اینك این پرسش را مطرح می‌کنیم‌که وقتی یك الکترولیت در آب حل می‌شود چه پدیده‌ای اتفاق می‌افتد؟

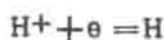
به عنوان‌مثال سولفات مس رادر نظربگیریم: این ماده از تعداد مساوی یونهای مثبت Cu^{2+} و یونهای منفی SO_4^{2-} تشکیل یافته است. درحالت عادی، یونها طوری مرتب شده‌اندکه سولفات مس مجموعه‌ای بدون‌بارالکتریکی‌است. وقتی که‌سولفات مس در آب حل می‌شود، بنا به فرضیهٔ آرنیوس[1]، یونها ازهم جدا شده‌ودرمحلول الکترولیت،آزادانه به هر طرف حرکت می‌کنند. کلمهٔ«یون» هم درواقع به معنی سرگردان است. الکترولیتهای دیگر هم در آب به همین گونه به صورت یون در می‌آیند، به عبارت دیگر یونیزه می‌شوند. مثلااسیدسولفوریك (H_2SO_4) به دو یون مثبت H^+ (H منهای یك الکترون) و یون منفی SO_4^{2-} (SO_4 به‌علاوهٔ دو الکترون) و نیترات نقره ($AgNO_3$) به یون مثبت Ag^+ و یون منفی NO_3^-. آب فقط به‌مقدارخیلی کم به‌یونهای H^+ و OH^- تجزیه می‌شود. به طورکلی می‌توان گفت‌که همهٔ اسیدها و بازها و نمکهایشان پس از حل شدن در آب به صورت یون در می‌آیند ولی ترکیبهای مواد آلی مانند قند و الکل و نفتالین در آب یونیزه نمی‌شوند.

وقتی که دو الکترود در الکترولیت قرار داده می‌شود و به باتری متصل می‌گردد یونهای مثبت به طرف کاتدکشیده می‌شوند و به این جهت‌کاتیون نامیده می‌شوند. یونهای‌منفی‌هم‌جذب آندمی‌گردند و بدین سبب آنیون‌نامیده می‌شوند. همین جابه‌جا شدن یونها در دو سوی مخالف هم است‌که‌عامل‌عبور جریان الکتریسیته از درون یك الکترولیت می‌باشد. اینك با بیان دو مثال به بررسی واکنشهایی که به هنگام عبور جریان در الکترودها صورت می‌گیرد می‌پردازیم.

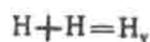
۱ـ **الکترولیز آب اسیددار**ـ برای‌الکترولیز آب اسیددارمعمولاازولتامترهوفمن استفاده‌می‌شود. آب، چنان‌که گفتیم، خیلی کم‌یونیزه می‌شودبنابراین رسانای خوبی‌نیست. اضافه‌کردن چند قطره اسیدبه آب برای این‌است‌که تعداد زیادی‌یون درآب‌تولید شود و به خوبی رسانا گردد. در آب اسیددار ازیك طرف تعدادی یون H^+ و OH^- است‌که ازتجزیهٔ

۱- Svante Arrhenius دانشمند سوئدی (۱۹۲۷-۱۸۵۹م)

مولکولهای آب به وجود می‌آید. از طرف دیگر تعدادی هم یون H^+ و SO_4^{2-} است که از تجزیهٔ اسید سولفوریك حاصل می‌شود. وقتی که جریان برقرار می‌گردد یونهای H^+ به طرف کاتد می‌روند و پس از دریافت الکترون از کاتد به صورت اتمهای بدون بار H در می‌آیند. این اتمها سپس دو به دو با هم ترکیب شده و به صورت مولکولهای H_2 در می‌آیند و دسته دسته از اطراف کاتد به‌شکل حبابهای گاز متصاعد می‌شوند. مطالب بالا را می‌توان در رابطه‌های زیر خلاصه کرد (e نمایش الکترون است):



$$H^+ + e = H$$

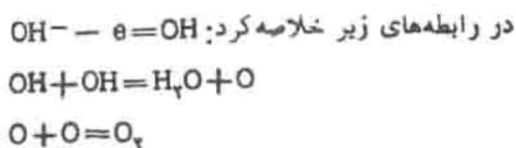


$$H + H = H_2$$

همزمان با حرکت یونهای H^+ به‌سوی کاتد، یونهای OH^- و SO_4^{2-} نیز به‌طرف آند می‌روند. در اینجا فقط یونهای OH^- در آند تخلیه می‌شوند، یعنی الکترونهای زیادی خود را به آند می‌دهند و بدون بار می‌گردند ولی یونهای SO_4^{2-} درمحلول باقی می‌مانند. این تخلیه را تخلیهٔ مرجح یونها نامیده‌اند.

پرسش ۴-۳- با آن که یونهای SO_4^{2-} در اطراف آند بیش از یونهای OH^- هستند به نظر شما علت این که فقط یونهای OH^- بار خود را در آند تخلیه می‌کنند چیست؟

مجموعه‌های OH پس از آن که آزاد شدند دو به دو با هم ترکیب‌شده به صورت مولکولهای آب (H_2O) و اتمهای اکسیژن (O) در می‌آیند. در آخر، اتمهای اکسیژن نیز دو به دو با هم ترکیب می‌شوند و مولکولهای O_2 را تشکیل می‌دهند. این مولکولها دسته‌دسته به‌صورت حبابهای گاز اکسیژن از اطراف آند متصاعد می‌شوند. این اعمال را می‌توان در رابطه‌های زیر خلاصه کرد:



$$OH^- - e = OH$$

$$OH + OH = H_2O + O$$

$$O + O = O_2$$

۲- الکترولیز سولفات مس- محلول الکترولیتی سولفات مس دارای یونهای Cu^{2+} و SO_4^{2-} حاصل از تجزیهٔ سولفات مس و یونهای H^+ و OH^- حاصل از تجزیهٔ آب است. در مدت عمل الکترولیز، یونهای Cu^{2+} و H^+ به سوی کاتد می‌روند ولی فقط یونهای Cu^{2+} در کاتد تخلیه می‌شوند و یونهای H^+ در محلول باقی می‌مانند. یونهای Cu^{2+} پس از بی بار شدن، به صورت اتمهای Cu درآمده روی کاتد می‌نشینند. به همین جهت پس از مدتی، سطح کاتد از یك لایهٔ قرمز رنگ مس خالص پوشیده می‌شود.

در آند، مانند آنچه در الکترولیز آب اسیددار اتفاق می‌افتد، یونهای OH^- پس از تخلیهٔ بار الکتریکی خود دو به دو با هم ترکیب شده به صورت آب و اکسیژن در می‌آیند. اگر آند از جنس پلاتین باشد در اطراف آن حبابهای اکسیژن متصاعد می‌شود و درصورتی که عمل الکترولیز ادامه یابد تمام یونهای مس به‌طرف کاتد رفته و روی آن می‌نشینند. درنتیجه محلول الکترولیت، کم‌کم رنگ آبی خود را از دست می‌دهد و به محلول رقیق اسید سولفوریك تبدیل می‌شود.

پرسش ۴-۳- از این پس عمل الکترولیز چگونه صورت می‌گیرد؟

ولی اگر آند، یك تیغهٔ مس باشد از این تیغه یونهای Cu^{2+} جدا و وارد محلول می‌شوند تا بار یونهای OH^- یا SO_4^{2-} را خنثی کنند. چنانچه عمل الکترولیز ادامه یابد، آند مسی به‌تدریج در الکترولیت حل می‌شود وضخامت لایهٔ مس در روی کاتد افزایش

می‌یابد. در این حالت برخلاف حالت پیش، غلظت سولفات مس در محلول الکترولیت در تمام مدت الکترولیز ثابت می‌ماند و عمل هنگامی متوقف می‌شود که تیغهٔ مسی آند به‌طور کامل در الکترولیت حل شود.

قانونهای فارادی در الکترولیز

فارادی ضمن انجام یك رشته آزمایش، از الکترولیتهای مختلف جریان برق عبور داد و مواد آزاد شده در الکترودها را وزن کرد و از آزمایشهای خود دو قانون زیر را که به نام خود او به قانونهای فارادی یا قوانین کمی الکترولیز معروف است کشف کرد:

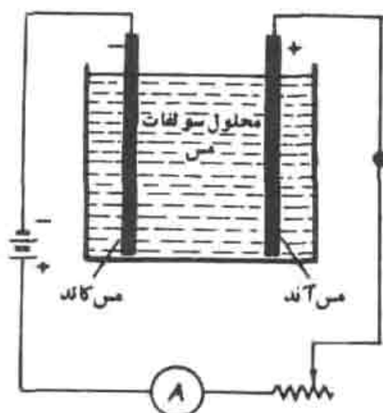
قانون یکم - جرم ماده‌ای که درمدت عمل الکترولیزآزاد می‌شود متناسب با مقدار الکتریسیته‌ای است که از الکترولیت می‌گذرد.

قانون دوم - جرمهای عناصر مختلف که در عمل الکترولیز توسط مقدار الکتریسیته معینی آزاد می‌شوند متناسب با خارج قسمت جرم اتمی آنها بر والانس آنهاست.

خارج قسمت جرم اتمی هرعنصربروالانس آن‌را «هم ارز شیمیایی» یا «والانس گرم» نامیده‌اند. بنابراین قانون دوم فارادی به صورت زیر نیز بیان می‌شود:

برای آزاد شدن هروالانس گرم از هر عنصر مقدار معینی الکتریسیته لازم است که درحدود ۹۶۵۰۰ کولن است.

برای تحقیق قانون یکم از هر نوع ولتامتر می‌توان استفاده کرد ولی، برای آسانی کار، بهتر این است که از یك ولتامتر محتوی سولفات مس با الکترودهای مسی استفاده شود. مدار الکتریکی لازم برای انجام آزمایش، در شکل ۴-۲ نمایش‌داده شده است. جریانی به شدت ثابت را در مدت‌معین



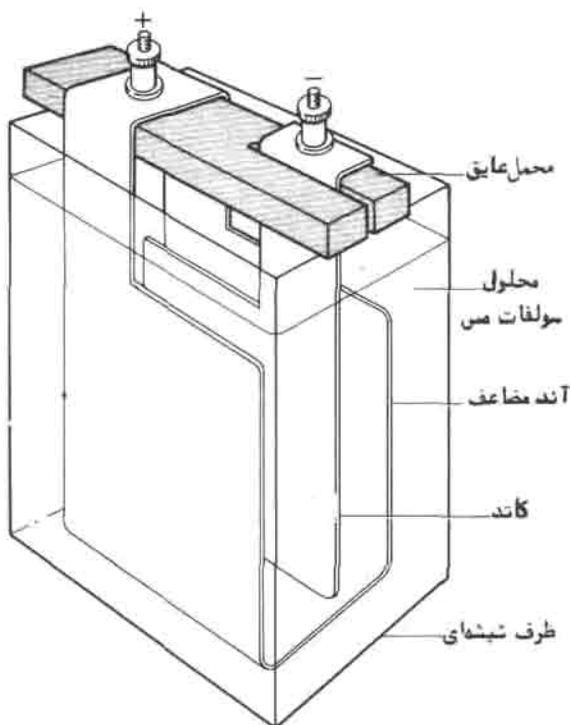
شکل ۴-۲- مدار الکتریکی برای تحقیق قانون فارادی

از مدار می‌گذرانند و اضافه جرم کاتد راکه برابر جرم مس آزاد شده در **آند** است اندازه می‌گیرند.

برای اینکه اضافه جرم کاتد به آسانی و بادقت با ترازو معین شود بهتر این است جرم مسی که روی کاتد رسوب می‌کند نسبتاً زیادباشد. برای این منظور آند را معمولا به صورت دوصفحه مسی انتخاب می‌کنند وکاتد فقط یك صفحه مسی است که میان دوصفحه آند قرار می‌گیرد (شکل ۴-۳).

ازاین ولتامتر می‌توان جریان زیاد عبور داد، درنتیجه جرم مسی که درزمان معین روی کاتد می‌نشیند زیاد است. روش آزمایش درپایان این بخش درقسمت «خودتان آزمایش کنید» توضیح داده شده است.

برای تحقیق قانون دوم می‌توان چند ولتامتر را که درآنها الکترولیت‌های مختلف مانند نیترات نقره (باالکترودهای نقره) وسولفات مس (با الکترودهای مس) وکلراید نیکل (با الکترودهای نیکل) ریخته



شکل ۴ــ۳ــ ولتامتر برای رسوب مس

شده است به طــور متوالی در مدار الکتریکی قرار داد وجریان الکتریکی معینی درمدار برقرار کرد وپس از زمان معین اضافه وزن کاتد هر یك ازولتامترها را تعیین نمود .

فرض کنیم دراثرمقدار معین الکتریسیته به اندازه ۱۰۷/۹ گرم نقره (یعنی یك اتم‌گرم نقره) ازمحلول نمك نقره‌آزادشود. همین مقدار الکتریسیته ازمحلول نمك مس ۳۱/۷۷ گرم مس (یعنی $\frac{Cu}{۲}$) و از محلول نمك نیکل ۲۹/۳۵ گرم نیکل $\left(\frac{Ni}{۲}\right)$ آزاد می کند .

گفتیم که خارج قسمت جــرم اتمی هر عنصر بر والانس آن والانس‌گرم ، یا هــم ارز شیمیایی نامیده می‌شود . اگرعنصری یك والانسی باشد والانس‌گرم آن عنصر برابر جرم اتمی آن است و اگر عنصر دو والانسی باشد والانس گرم‌آن نصف جرم اتمی عنصر است و . . .

تحقیقات تجربی فارادی نشان داده است که‌برای آزادشدن یك والانس گرم ازهرعنصر تقریباً ۹۶۵۰۰ کولن الکتریسیته لازم است واین مقدار الکتریسیته‌یك «فارادی» نامیده می‌شود .

پرسش ۴ــ۴ــ به نظرشماآیا موادی که در اثر الکترولیز حاصل شوند به ابعــاد ظرف الکترولیز یا غلظت الکترولیت و دمای‌آن بستگی دارند ؟

کار برد قانــونهای فارادی در تعیین جــرم مواد حاصل از الکترولیز

اگــر بــه ازای عبور Q کــولن الکتریسیته از الکترولیت m گرم ماده‌آزاد شود نسبت $\frac{m}{Q}$ جــرم ماده‌ای است‌که بــه ازای عبور یك‌کولن الکتریسیته آزادمی‌شود . این نسبت را که برای ماده مورد نظر همواره‌مقدار ثابتی است «هم ارز الکترو شیمیایی» آن ماده گویند .

به طورکلی، هم‌ارز الکتروشیمیایی یك ماده بنا به تعریف عبارت است از جرمی از ماده‌که درعمل الکترولیز در اثر عبور یك‌کولن الکتریسیته آزاد شود.

اگر $\frac{m}{Q}$ را به Z نمایش دهیم، جرم m از یك ماده‌که به ازای عبور $Q=It$ کولن الکتریسیته‌آزاد می‌شود برابر است با:

$$\boxed{m=ZQ=ZIt} \qquad (۱-۴)$$

که در آن I شــدت جــریان برحسب آمپر و t مدت عبور جــریان برحسب ثــانیه و Z هم‌ارز

الکتروشیمیایی ماده برحسب $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$ و m جرم مادهٔ آزاد شده برحسب گرم است.

گفتیم برای آزاد شدن یك والانس گرم از هر عنصر در عمل الکترولیز، تقریباً ۹۶۵۰۰ کولن الکتریسیته لازم است. اگرجرم اتمی عنصر را بهA و والانس‌آن را به n نمایش دهیم والانس گرم‌عنصر $\frac{A}{n}$ و هم ارز الکتروشیمیایی آن $Z = \frac{A/n}{۹۶۵۰۰}$ است بنابراین رابطه ۴ــ۱ را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$m = \frac{It}{۹۶۵۰۰} \cdot \frac{A}{n} \qquad (۴-۲)$$

مثال ــ با توجه به این که جرم اتمی نقره ۱۰۷/۹ گرم و والانس‌آن ۱ است هم ارز الکترو ـ شیمیایی این عنصر برابر است با:

$$Z = \frac{۱۰۷/۹g}{۹۶۵۰۰C} \simeq ۰/۰۰۱۱۱۸ \frac{g}{C}$$

پرسش ۴ــ۵ــ هم ارزالکتروشیمیایی مس چقدر است؟

یادآوری ــ پیش از سال ۱۹۴۸ میلادی کولن (واحد مقدار الکتریسیته) بر اساس هم ارز الکترو ـ شیمیایی نقره چنین تعریف میشد:

«کولن مقدار الکتریسیته‌ای است کــه ازمحلول نیترات نقره درآب به اندازه ۱/۱۱۸ میلی‌گرم نقره روی‌کاتد رسوب دهد» تعریف جدید کولن براساس آمپر است که دربخش ۳آن را دیده‌اید.

کاربردهای الکترولیز در صنعتــیکی از قدیمی‌ترین مواردکاربرد الکترولیز در صنعت این است که سطح یك‌فلز معمولی‌رابا یك لایه از فلز گرانبها بپوشانند. این عمل را «آب فلزدادن» می‌نامند و به دو منظور انجام می‌شود یکی آن‌کـه از زنگ‌زدن فلز معمولی جلوگیری می‌شود و دیگر آن‌که سطح فلز جلای بیشتری پیدا می‌کند. درگذشته بعضی از لوازم خانه مانند قاشق و کارد و چنگال و بعضی از ظروف را از آلیاژ نیکل می‌ساختند و روی آنها پوششی از نقره می‌دادند. زمانی دادن آب نیکل‌بر روی فلزات خیلی متداول بود ولی امروزه به‌جای آن، اغلب ازکروم یاکادمیم استفاده می‌شود.

عمل الکترولیز در تصفیهٔ مس ناخالص بـه منظور تهیهٔ مس خالص نقش مهمی دارد.عمل‌تصفیه در ظرفهای الکترولیز بزرگــی‌کـه پـر از محلول الکترولیتی سولفات مس‌است انجام می‌شود. در این ظرفها، صفحه‌های بزرگ مس ناخالص را بـه جای آند و ورقه‌های نازك مس خالص را به جای‌کاتـد قرار می‌دهند وقتی‌که جـریان بـرق از الکترولیت می‌گذرد مس خالص از آند به‌کاتـد منتقل شـده و ناخالصیهای آند پس از پـایـان تصفیه دور ریخته می‌شود. مس خالصی‌که از این راه به دست می‌آید مس الکترولیتی نام دارد و به سبب خالص بودنش دارای مقاومت ویژهٔ الکتریکی بسیارکم است، به همین جهت، در ساختن‌کابلهای برق به‌کار می‌رود.

دراینجا باید یادآورشویم‌که‌کاربرد الکترولیز در صنعت، منحصر به آنچه‌که گفته شد نیست بلکه در موارد دیگری هم، مانند تهیهٔ آلومینیم خالص از نمکهای معدنی آلومینیم و تهیهٔ قالبهای اولیهٔ صفحه‌های گرامافون نیز به‌کار می‌رود.

روش تهیه صفحه‌های گراما فون‌طولانی‌وپیچیده است و دراین جا ما فقط اشاره مختصری به‌آن می‌کنیم:

برای تهیه صفحه‌های گراما فون نخست ارتعاشات صوتی را روی صفحه گردی از آلومینیم که دوطرف آن با لایه‌ای از استات سلولز پوشانیده شده است ثبت می کنند وما این صفحه را براساس نامگذاری متداول در صنعت چاپ «صفحه خبر» می‌نامیم . ابعاد صفحه خبر برابر ابعاد صفحه گراما فون است و مانندآن‌هم عمل می کند ولی نباید ازآن استفاده صوتی شود .

پس از ثبت ارتعاشات صوتی برروی صفحه خبربا دقت روی‌آنرا با لایه نازك ویکنواختی ازنقره می‌پوشانند . این‌کار ممکن است به روشهای شیمیایی یا الکتریکی انجام‌گیرد . به این ترتیب سطح لایه استات از لحاظ الکتریکی رسانا می‌شود ، سپس‌این صفحه را به جای‌کاتددرظرف الکترولیز که الکترولیت آن محلول‌نمك‌نیکل وآندآن‌نیکل است قرار می‌دهند تا روی‌نقره یك لایه‌نیکل‌به ضخامت مناسب پوشانیده شودوبعدآن را درظرف الکترولیز دیگری که محتوی نمك مس وآند مسی است قرار می‌دهند تا روی‌لایه نیکل لایه ضخیمتری از مس رسوب‌کند .

پس از این مرحله پوشش فلزی را که شامل لایه‌های نقره و نیکل و مس است به دقت از استات جدا می کنند . این پوشش فلزی در حکم «صفحه خبر منفی» است ونمی‌تواند مانند صفحه گراما فون عمل کند زیرا شیارهای روی صفحه خبر استات (که در اثر ثبت ارتعاشات صوتی به وجود آمده‌اند) در روی صفحه منفی به صورت برجستگیهایی نقش شده است .

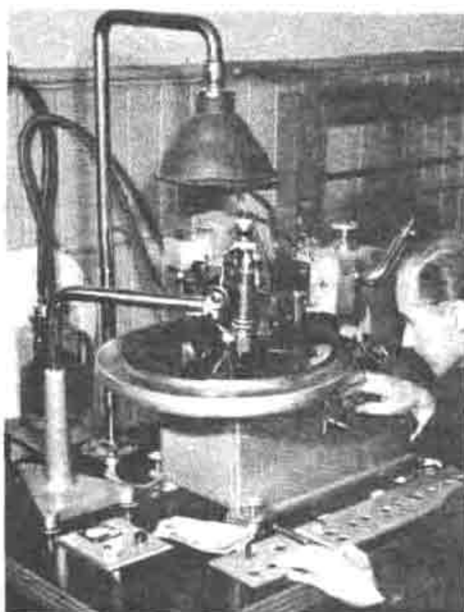
صفحه منفی را ازنومتوالیاً درظرفهای الکترولیز نیکل و مس قرارمی‌دهند تا ابتدا یك لایه نیکل سپس یك لایه مس روی‌آن رسوب داده شود . باجدا کردن پوشش جدید نیکل - مس ازصفحه منفی صفحه‌دیگری به دست می آید که «صفحه مادر» نامیده می‌شودصفحه مادر یك نسخه از صفحه خبر است که همانندآن عمل می کند .

در آخرین مرحله ، صفحه نیکل ــ مسی مادر دوباره درظرفهای الکترولیزقرار داده می‌شود وروی آن به ترتیب پوشش دیگری از لایه‌های نیکل و مس رسوب داده می‌شود . این پوشش نیکل ــ مسی پس از جدا شدن از صفحه مادر ، قالب تهیه صفحه‌های معمولی گراما فون است . این صفحه‌ها توسط یك دستگاه منگنه‌آبی که با بخارآب داغ می‌شود تهیه می گردند و «صفحه‌های قالب»، دو سطح بالایی و پایینی منگنه را تشکیل می‌دهند . در نتیجه ارتعاشات صوتی روی هر دو طرف صفحه گراما فون نقش می‌بندد . شکل ۴ــ ۴ چند مرحله از تهیه این صفحه‌ها را نشان می‌دهد .

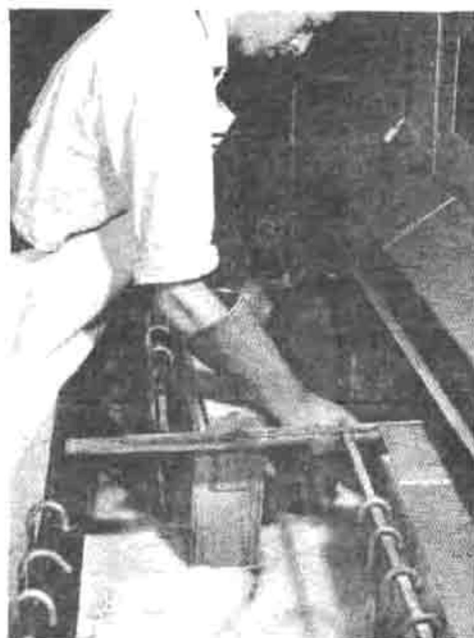
خودتان آزمایش کنید

هم‌ارز الکتروشیمیایی‌مس را تعیین کنید ـ در ظرف شیشه‌ای تمیزی محلول سولفات مس غلیظ بریزید و مقدارکمی هم اسید سولفوریك به آن بیفزایید. دوتیغهٔ مس، یکی به‌جای کاتد و دیگری به‌جای آند در این محلول قراردهید.

پیش از برقرارکردن جریان، تیغهٔ کاتد را باکاغذ سنبادهٔ نرم خوب بسایید و درجریان آبی



الف ــ ثبت ارتعاشات صوتی از روی نوار ضبط صوت
بر روی صفحه استات (تهیه صفحه خبر)



ب ــ در ظرف الکترولیز (تهیه پوشش لایه‌های نیکل و مس)



ج ــ جدا کردن پوشش فلزی از صفحه خبر



د ــ تهیه صفحه گرامافون معمولی (مرحله آخر) توسط منگنه آبی

شکل ۴ـ۲

که از یك شیر جاری است بشویید تا کاملا تمیز شود. سپس آن را در جای خود قرارداده و مستقیماً به قطب منفی باتری وصل کنید و بقیهٔ مدار را مطابق شکل ۴ـ۳ کامل نمایید.

انتخاب مناسب شدت جریان دراین آزمایش اهمیت دارد. زیرا اگر شدت جریان کم باشد وزن مسی که درکاتد رسوب می‌کند خیلی کم است در نتیجه نمی‌توان وزن آن را با دقتی که لازم است معین کرد واگرشدت جریان زیاد باشد، مس به‌صورت گرد روی کاتد می‌نشیند وهنگام شستن کاتد، از سطح آن جدا شده و درموقع توزین کاتد به حساب نمی‌آید. آزمایش نشان داده است که مناسب‌ترین شدت جریان در این عمل درحدود ۰/۰۲۵ آمپر برای هر سانتیمتر مربع از سطح کاتد است. بهتراین است که پیش ازشروع آزمایش اصلی، یك آزمایش مقدماتی انجام دهید تا با تنظیم رئوستا شدت جریان متناسب را انتخاب کنید. پس از انجام آزمایش مقدماتی، با استفاده ازکاغذ سنباده و آب جاری سطح کاتد را کاملا تمیز کنید، سپس آن را، با آب مقطر بشویید و بالای یك شعلهٔ کوتاه و بی‌دود خشك کنید. نباید تیغهٔ مسی کاتد در شعله قرار گیرد، زیرا مس درشعله اکسیده می‌شود. پس ازخشك کردن کاتد، آن را با ترازوی دقیقی توزین ووزن آن را یادداشت کنید. کاتد را پس از توزین درجای خود بگذارید و به مدت نیم ساعت جریان را برقرار سازید، درتمام این مدت باید شدت جریان درمدارثابت بماند؛ بنابراین، آمپرسنج باید زیر نظر باشد. پس ازنیم ساعت، کاتد را ازجای خود خارج کنید و آن را درجریان آب ملایم، بدون مالیدن دست بشویید و بالای شعله خشك نمایید و دوباره با ترازوتوزین کنید ونتایج رادر جدولی مانند جدول زیر یادداشت و هم‌ارز الکتروشیمیایی مس را حساب نمایید.

جرم کاتد پیش از عبورجریان $= m_1$ گرم

جرم کاتد پس ازعبور جریان $= m_2$ گرم

جرم مس آزاد شده درکاتد $= m_2 - m_1$ گرم

شدت جریان $= I$ آمپر

مدت عبورجریان $= t$ ثانیه

هم‌ارز الکتروشیمیایی مس $= \frac{m_2 - m_1}{It} = \ldots$ $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چه عملی الکترولیز نامیده می‌شود؟

۲) چرا برای تجزیه‌آب خالص باید چند قطره اسید سولفوریك به‌آن افزود؟

۳) چرا وقتی دو قطب یك پیل یا یك انباره سربی را با سیمی به هم وصل می‌کنیم درون

پیل یا انباره واکنشهای شیمیایی صورت می‌گیرد ؟

۴) با بیان یك مثال چگونگی عبور جریان الکتریسیته از یك الکترولیت را شرح دهید .

۵) الکترولیز محلول اسید کلرئیدریك و محلول سود سوزآور (Na OH) و محلول کلراید نیکل را توضیح دهید .

۶) این اصطلاحات را تعریف‌کنید: الکترولیت، آند، کاتد، یون،آنیون، کاتیون.

۷) از مواد زیر کدامشان الکترولیت هستند؟

نفت ، جیوه ، محلول نمك طعام ، مس مذاب ، محلول رقیق اسید سولفوریك .

۸) قانون‌های فارادی را در مورد الکترولیز بیان‌کنید و هم ارز الکترو شیمیایی را تعریف نمایید .

۹) با توجه به مفهوم هم ارز شیمیایی نقره ، آیا می‌توان به‌کمك الکترولیز درست بودن درجه بندی یك‌آمپرسنج راکنترل کرد ؟ توضیح دهید .

۱۰) برای این‌که دو طرف یك صفحهٔ فلزی به طور یکنواخت‌آب مس داده شود چه باید کرد ؟

جواب این پرسش را با رسم شکل و اشاره به حدود شدت جریان بدهید.

۱۱) توضیح دهید هنگامی‌که جریان برق از الکترولیت اسیدسولفوریك رقیق می‌گذرد اگر از الکترودهای پلاتین استفاده شود چه اتفاق می‌افتد.

۱۲) از نامبرده‌های زیرکدام آنیون وکدام کاتیون هستند:

مس، ئیدروژن، ریشهٔ سولفات، کلر

تعداد بارهای یونی آنها را نیز مشخص‌کنید.

۱۳) الکترولیز محلول سولفات مس را وقتی که از الکترودهای مسی استفاده می‌شود شرح دهید. اگر به جای الکترودهای مسی از الکترودهای پلاتینی استفاده بشود چه اختلافی مشاهده می‌گردد؟ توضیح دهید.

۱۴) می‌دانیم هر اتم گرم ازیك عنصرمانند ئیدروژن یا نقره شامل $N = ۶/۰۲۳ \times ۱۰^{۲۳}$ عدد اتم است که آن را عدد آووگادرو می‌گویند . با توجه به این که یون مثبت H^+ یعنی اتم هیدروژنی که یك الکترون با بار الکتریکی $۱/۶۰۲ \times ۱۰^{-۱۹}$ از دست داده است ، بر اساس فرضیه یونی با محاسبه نشان دهیدکه برای‌آزاد شدن یك اتم‌گرم هیدروژن تقریباً ۹۶۵۰۰ کولن الکتریسیته لازم است .

این مسئله‌ها را حل‌کنید

۱) برای‌آزاد شدن ۱/۱۰ گرم مس‌به‌وسیلهٔ الکترولیز، درصورتی‌که شدت جریان ۰/۵۰

آمپر باشد چه‌مدت لازم است ؟ هم ارز الکتروشیمیایی مس ۰/۰۰۰۳۳ $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$ است.

۲) می‌خواهیم دوطرف یك‌صفحهٔ فلزی به‌ابعاد ۵cm × ۴cm را ازمس به‌ضخامت ۰/۱ میلیمتر بپوشانیم اگر شدت جریان ۰/۵ آمپر باشد چه مدت برای انجام این کار لازم است . جرم حجمی مس را ۹ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمترمکعب}}$ وهم‌ارز الکتروشیمیایی مس‌را ۰/۰۰۰۳ $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$ بگیرید .

۳) در دستگاهی گاز ئیدروژن از تجزیهٔ الکتریکی آب اسیددار به‌دست می‌آید اگرشدت جریان ۵۰ آمپر باشد حجم گاز ئیدروژن حاصل در مدت یك ساعت چه‌اندازه است ؟ هم‌ارز الکتروشیمیایی ئیدروژن ۱/۰۵ × ۱۰⁻⁵ $\frac{\text{گرم}}{\text{کولن}}$ و جرم حجمی ئیدروژن در شرایط آزمایش ۰/۰۹ $\frac{\text{گرم}}{\text{لیتر}}$ است .

۴) یك باتری با نیروی محرکهٔ ۳/۰۰ ولت ومقاومت داخلی ۰/۸۰ اهم به‌یك‌ولتامتر با الکترودهای مسی وصل شده است وشدت جریان درمدار ۱/۴۰ آمپر است .

الف ـ مقاومت ولتامتر را حساب‌کنید .

ب ـ تغییر وزن‌کاتد پس ازگذشت زمان ۵ ساعت چه‌اندازه است ؟

می‌دانیم برای‌آزاد شدن ۳۱/۵ گرم مس ۹۶۵۰۰ کولن الکتریسیته لازم است .

۵) ولتامتری را که محتوی نیترات نقره ($AgNO_3$) است بـه طور متوالی با ولتامتر دیگری که محتوی محلول سولفات مس ($CuSO_4$) است در مداری بسته‌ایم . اگر در اثر عبور مقداری الکتریسیته از مدار، ۱/۵ گـرم مس روی‌کاتد ولتامتر دومی نشسته باشد چه مقدار نقره روی‌کاتد ولتامتر اولی نشسته است ؟

۶) مطلوبست حجمهای اکسیژن و هیدروژنی که در شرایط استاندارد (۷۶ سانتیمترجیوه و صفر درجه سلسیوس) در مدت ۱/۰ ثانیه در اثرعبور جریانی به شدت ۰/۴ آمپر درولتامترمحتوی آب اسیددار متصاعد می‌شود .

پاسخ به‌پرسشهای متن

۴ـ۱) آند به قطب مثبت مـولد وکاتد به قطب منفی مولد.

۴ـ۲) برای رسیدن یونهای OH^- به‌آند اختلاف پتانسیل‌کمتری لازم است .

۴ـ۳) ازآن به‌بعد، تجزیهٔ الکترولیت مانند تجزیهٔ محلول اسید سولفوریك رقیق‌صورت می‌گیرد و درکاتد وآند به‌ترتیب ئیدروژن و اکسیژن متصاعد می‌شود .

۴ـ۴) نه ، در حالات ساده‌ای‌که بیان شد مـواد حاصل از عمل الکترولیز بستگی به شکل و ابعاد ظرف الکترولیزوالکترودها وغلظت الکترولیت ودمای‌آن ندارد .

۴ـ۵)

$$Z = \frac{31/77}{96500} \simeq 0/000329 \frac{g}{C}$$



انرژی و توان الکتریکی

اثر گرمایی جریان برق

یکی از امتیازهای انرژی الکتریکی این است که به‌آسانی به گرما و نور و صورتهای دیگر انرژی تبدیل می‌شود. امروزه تولید روشنایی به وسیلهٔ برق در همه جا متداول است. در اغلب خانه‌ها رادیو وتلویزیون جزو لوازم زندگی به شمار می‌رود. تعداد زیادی از اسبابهای خانه که با برق‌کارمی کنند، مانند اتووبخاری الکتریکی، ماشین لباسشویی، جاروی برقی، یخچال الکتریکی و... کار خانمهای خانه‌دار را در امرخانه‌داری‌آسان می‌نمایند.

استفاده از برق برای به حرکت درآوردن ترنهای زیرزمینی و قطارهای سریع‌السیر روز به روز زیادتر می‌شود. در سالهای‌اخیر کوشش شده ومی‌شودکه به منظور جلوگیری از آلودگی هوا، در کارخانه‌ها به جای سوختن نفت یا زغال سنگ، از الکتریسیته‌برای به‌کار انداختن ماشینها استفاده شود.

نقش مؤثر الکتریسیته در تمام مظاهر زندگی، چنانکه گفتیم، مدیون‌آثارآن است. در بخش پیش اثر شیمیایی جریان برق را به اختصار بیان‌کردیم. دراین بخش به شرح اثر گرمایی و کاربردهای آن می‌پردازیم.

انرژی در یك مدار الکتریکی

پیش از خواندن این بخش، تعریفهای ژول، وات، آمپر، کولن، ولت و اهم راکه در بخشهای قبل‌فرا گرفته‌ایددوباره‌مرور کنید و به‌خاطربسپارید.

هنگامی‌که به دو سر یك مدار اختلاف پتانسیلی برقرار می‌شود تعدادی از الکترونهای درون مدار، در اثر نیروهای الکتریکی به حرکت درمی‌آیند، بنابراین، کارانجام می‌شود و الکترونها انرژی می‌گیرند. حرکت الکترونها در مدار سبب ایجاد جریان برق می‌شود و انرژی جریان برق

(یعنی انرژی الکترونها) بسته به نوع مداری که در آن جریان برقرار می‌شود به صورتهای مختلف ظاهر می گردد. مثلا یك دستگاه فرستندهٔ رادیو انرژی حاصل از حرکات نوسانی سریع الکترونها را به صورت امواج الکترومانیتیك پخش می کند. کار یك گیرندهٔ رادیو این است که انرژی این امواج را دوباره به انرژی الکتریکی سپس به انرژی صوتی (که انرژی مکانیکی است) تبدیل نماید. موتور الکتریکی برای این منظور ساخته شده است که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل کند. در بخاری برقی یا اتوی برقی، انرژی الکتریکی تبدیل به «انرژی درونی» ماده می‌شود و این انرژی به نوبهٔ خود به صورت گرما ظاهر می گردد. دراینجا ما نخست اثر گرمایی جریان برق را مورد بحث قرار می‌دهیم. یعنی، حالتی را در نظر می گیریم که در اثر عبور جریان برق از یك مقاومت، احتمالا تمام انرژی الکتریکی به گرما تبدیل شود.

کاری که توسط جریان الکتریکی انجام می‌شود

در بخش پیش، ولت (واحد اختلاف پتانسیل) را تعریف کردیم. از تعریف ولت نتیجه می‌شود که اگر بین دو سر یك هادی، اختلاف پتانسیل یك ولت برقرار شود ویك کولن الکتریسیته از هادی بگذرد، یك ژول کار انجام می گیرد. بنابراین اگر اختلاف پتانسیل دوسر هادی V ولت باشدو Q کولن الکتریسیته از آن بگذرد کار انجام شده برابر VQ است. ولی:
زمان عبور جریان (به ثانیه) × شدت جریان (به آمپر) = Q

یا $Q = I\,t$ کولن

بنابراین کار انجام شده بر حسب ژول برابر است با:

W	$=V$	Q	$=V$	I	t	(۵-۱)
↓	↓	↓	↓	↓	↓	
ژول	ولت	کولن	ولت	آمپر	ثانیه	

اگر در نظر بگیریم که بنابه قانون اهم $V = IR$ یا $I = \frac{V}{R}$ است، رابطهٔ (۴-۱) را به دو صورت زیر نیز می‌توانیم بنویسیم:

$$W = VIt = IR.It = I^2Rt \quad (۵-۲)$$

و

$$W = VIt = V.\frac{V}{R}t = \frac{V^2}{R}t \quad (۵-۳)$$

کاری که در اثر عبور جریان برق، در یك هادی انجام می‌شود، درآن به انرژی درونی مولکولی تبدیل می گردد ودمای هادی بالا می‌رود. درنتیجه، این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود.

قانون ژولـ در اواسط قرن نوزدهم میلادی جیمز ژول[1] فیزیك‌دان انگلیسی ضمن تحقیقات خود دربارهٔ اثر گرمایی جریان برق، آزمایشهایی انجام داد. نتیجهٔ تحقیقات او به‌صورت قانونی به نام قانون ژول معروف است که چنین بیان می‌شود:

اندازهٔ گرمایی که در یك سیم در اثر عبور جریان برق تولید می‌شود متناسب است با:

۱ـ مجذور شدت جریان (I^2)

۲ـ مقاومت سیم (R)

۳ـ زمان عبور جریان (t)

قانون ژول را می‌توان به صورت رابطهٔ زیر

1- James Joule (۱۸۱۸-۱۸۸۹ م)

نمایش داد:

$$\text{گرما} \propto I^2Rt$$

بنابراین نتیجهٔ تجربی ژول با رابطهٔ زیر که ما آن را قبلا براساس تعریفهای ولت و آمپر واهم به دست آوردیم تطبیق می‌کند:

I^2Rt = کار انجام شده برحسب ژول(یا گرمای تولید شده برحسب ژول)

پرسش ۵-۱- اگر بخواهید گرمای حاصل را برحسب کالری حساب نمایید چه می‌کنید؟

توان الکتریکی

هراسباب الکتریکی بااختلاف پتانسیل، یابه عبارت دیگربا ولتاژمشخصی کارمی‌کند. موقعی که‌این ولتاژبه دو سراسباب بسته می‌شود مقداری انرژی الکتریکی درواحد زمان‌دراسباب‌به‌مصرف می‌رسدکه معرف توان آن است. معمولا هر اسباب الکتریکی برچسب‌یاپلاکی‌داردکه روی‌آن‌اندازهٔ ولتاژ وتوان اسباب نوشته یا حك شده است. مثلا اگر روی يك لامپ الکتریکی اعداد «240V ، 60W» یا روی يك بخاری الکتریکی اعداد 240V،3kW نوشته شده باشد این اعداد، از چپ به راست به ترتیب معرف ولتاژ برحسب ولت وتوان اسباب برحسب وات یا کیلووات است (kW = 1000W).

به‌طوری‌که‌می‌دانید، واحد توان، «وات» است ویك‌وات بنابه‌تعریف معادل‌يك ژول برثانیه است. بنابراین

$$\text{توان (برحسب وات)} = \frac{\text{کار (برحسب ژول)}}{\text{زمان(برحسب ثانیه)}}$$

یا

$$P_{(w)} = \frac{W(J)}{t(s)}$$

دیدیم که کار انجام‌یافته‌توسط‌جریان، درt ثانیه، با جملهٔ VIt یا I^2Rt یا $\frac{V^2}{R}t$ نمایش داده می‌شود.

چون‌توان کارانجام‌یافته درواحد زمان‌است، بنابراین

$$\left.\begin{aligned} (\text{وات})P &= \frac{VIt}{t} = VI && \text{ولت} \times \text{آمپر} \\ &= \frac{I^2Rt}{t} = I^2R && (\text{آمپر})^2 \times \text{اهم} \\ &= \frac{V^2t}{Rt} = \frac{V^2}{R} && \frac{(\text{ولت})^2}{\text{اهم}} \end{aligned}\right\} \quad (۴-۵)$$

پرسش۵-۲- اگریك لامپ 60W ، 240V باهمین مشخصات‌کارکند چه شدت جریانی از آن می‌گذرد و مقاومت آن چند اهم است؟

واحد تجارتی انرژی‌الکتریکی«کیلووات‌ساعت»-

اگر به يك‌کنتور برق نگاه‌کنید روی آن علامت kWh راکه‌نمایش‌مصرف انرژی برق‌برحسب کیلو-وات ساعت‌است خواهید یافت. کیلووات ساعت‌واحد تجارتی انرژی الکتریکی است و چنان‌که از نام‌آن پیداست، برابر است با انرژی الکتریکی‌که از قرار هزار ژول در ثانیه (هزار وات) به مدت يك‌ساعت به مصرف برسد.

بنابراین:

$$\begin{aligned} ۱\text{kWh} &= ۱۰۰۰ \text{ وات ساعت} \\ &= ۱۰۰۰ \text{ ژول برثانیه} \times \text{يك‌ساعت} \\ &= ۱۰۰۰ \times ۳۶۰۰ = ۳۶۰۰۰۰۰ \text{ ژول} \\ &= ۳/۶ \text{ مگا ژول (MJ)} \end{aligned}$$

پرسش ۵-۳- قیمت‌برق مصرفی در۵لامپ۶۰ واتی‌و ۴ لامپ ۱۰۰ واتی درمدت ۸ ساعت ازقرار هرکیلو وات ساعت ۲/۵ ریال چیست؟

تولید گرما با جریان برق

در بخاریهای برقی که برخاصیت تابش‌مستقیم گرما کار می کنند، دستگاه‌گرماده سیم مقاومت داری است که در اثر عبور جریان برق، دمای آن تا حدود $900°C$ بالا می‌رود. سیم مقاومت‌دار روی میله یا تیغه‌ای از جنس آجرنسوز پیچیده شده یا درون لوله‌ای ازجنس سیلیس قرار داده شده است. سیم را معمولا ازآلیاژ نیکروم (نیکل وکروم)می‌سازندتادرمجاورت‌هوا به‌هنگام‌سرخ‌شدن‌زنگ نزند.

در نوع دیگری از بخاریهای الکتریکی که براساس همرفتی (کنوکسیون)کار می کنند، دمای قسمت گرماده فقط تا حدود $450°C$ بالا می‌رود،در نتیجه ، دستگاه گرماده در اثر گرما سرخ نمی‌شود . در این نوع بخاریها ، انتقال گرما ، از راه همرفتی به وسیلهٔ هوا صورت می گیرد . تعداد زیادی از وسایل الکتریکی، مانند اتوی برقی ،کتری برقی ، سماور برقی ، پتوی برقی و... نیز دارای دستگاه مولد گرما (گرماده) هستند.

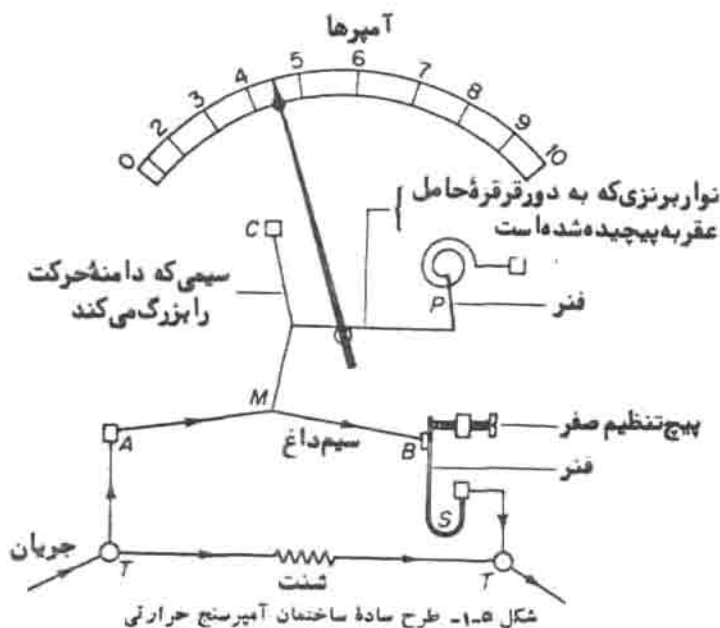
هنگامی که از جریان برق‌برای گرم کردن‌آب یا مایعهای‌دیگر استفاده‌می‌شود، دستگاه گرماده‌باید از نظر الکتریکی کاملا عایقپوش بوده و درون یك لولهٔ فلزی یا محفظه‌ای قرار داده شود تاهیچ گونه تماسی با آب نداشته باشد. زیرا ممکن است‌خطر برق گرفتگی پیش بیاید. دستگاه گرماده اتوی‌برقی، به جای سیم، از نوارهای نازك و پهن فلزی‌ساخته می‌شود تا هدایت گرمابه بدنهٔ اتو به آسانی‌صورت گیرد. هریك از نوارها بین دو ورقهٔ نازك میکا قرار داده می‌شود. میکا مادهٔ معدنی است‌که به آسانی‌به صورت ورقه‌های نازك در می‌آید و در دماهای بالا در مقابل گرما مقاومت می کند.

پرسش ۵-۴- در بخاری الکتریکی وقتی دمای دستگاه‌گرماده‌آن به حد معینی رسید باآنکه جریان برق مرتباً ازدستگاه می گذرد این دما ثابت‌می ماند. آیا می‌توانید علت را توضیح دهید ؟

اثر گرمایی جریان‌الکتریسیته در اندازه‌گیری شدت جریان نیز مورد استفاده قرار گرفته و برای این منظور آمپرسنج حرارتی ساخته شده است

آمپرسنج حرارتی ـ شکل ۵ ـ ۱ طرح سادهٔ ساختمان آمپرسنج حرارتی را نشان می‌دهد: سیم باریك AB از جنس آلیاژ پلاتین و نقره است‌که بین دو نقطهٔ A و B محکم‌کشیده شده و قسمت اساسی آمپرسنج را تشکیل می‌دهد. به وسط سیم AB،سیم دیگر MC متصل است‌که در نقطهٔ C به پایه‌ای محکم شده است. به وسط سیم MC نیز نوار باریکی ازجنس برنز فسفردار بسته شده است و این نواربه دور قرقرهٔ‌کوچکی‌که عقربهٔ آمپرسنج به آن متصل است پیچیده شده و سر دیگر آن توسط فنر Pمحکم کشیده می‌شود.

هنگامی که جریان الکتریسیته از سیم AB می گذرد. دمای‌سیم‌بالامی‌رود وسیم انبساطمی‌یابد. در نتیجه، وسط آن توسط فنر Pکه نوار برنزی را به طرف‌راست می‌کشد بالاکشیده می‌شود تا دوباره محکم شود. چون نوار برنزی‌به دور قرقره‌پیچیده شده است ضمن حرکت خود، قرقره را می‌چرخاند و عقربهٔ متصل به آن در مقابل صفحهٔ مدرج به‌سمت راست حرکت می‌کندو شدت جریان‌را نشان‌می‌دهد. پس از قطع‌جریان، عقربه دوباره به جای اول‌خود (روی صفر) برمی گردد. برای تنظیم صفر دستگاه از پیچ تنظیم که به فنر S تکیه دارد (فنری‌که به



شکل ۵-۱- طرح سادهٔ ساختمان آمپرسنج حرارتی

شکلU است) استفاده می‌شود.

چون اثر گرمایی جریان الکتریسیته بستگی به جهت جریان ندارد بااین نوع آمپرسنج می‌توان هم شدت جریان مستقیم (جریان حاصل از پیل یا باتری) و هم شدت مؤثر جریان متناوب[1] (مانند برق شهر) را اندازه گرفت. نظر به این که اندازهٔ گرمای حاصل در سیم AB با مجذور شدت جریان متناسب است فاصلهٔ بین درجات روی صفحهٔ مدرج مساوی نیست ودرجه‌های نزدیك به صفر فشرده‌تر از درجات آخر است.

در شکل مقاومتی دیده می‌شودکه با سیم AB به طور موازی بسته شده است. این مقاومت که قابل تغییرنیز هست‌ها را یا شنت[2] نامیده‌می‌شود و می‌توان آن را طوری انتخاب کرد که شدت‌جریان لازم از سیم AB بگذرد.

درصورتی که‌مقاومتهای معینی به طورمتوالی با سیم AB در این اسباب قرار داده شود می‌توان آن را به عنوان ولت‌سنج برای سنجش اختلاف پتانسیل نیز به‌کاربرد.

تولید روشنایی با جریان برق

تولید روشنایی به وسیله برق به روشهای مختلفی صورت می‌گیرد که شما کم‌وبیش با آنها آشنایی دارید دراین جا به منظور یادآوری به شرح مختصر چند روش می‌پردازیم :

۱- کمان الکتریکی - در اوایل قرن نوزدهم سرهمفری دیوی شیمیدان ومخترع انگلیسی نشان داد که می‌توان یك چشمه نورقوی ازاتصال دو میله کربن

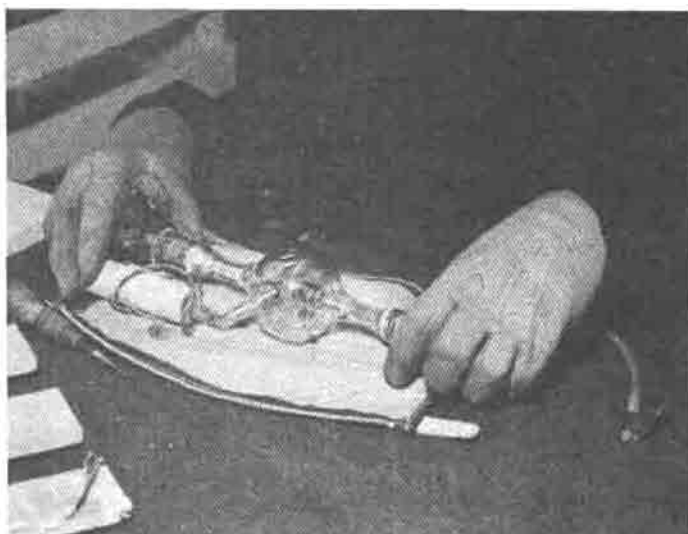
۱- به بخش ۸ مراجعه شود.

۲- به بخش ۳ مراجعه شود

به یك باتری با نیروی محرکـه حدود ۴۰ ولت به دست‌آورد . برای این منظور کافی است نوکهای دو میله‌کربن را به هم تماس دهیم تا نوك میله‌ها افروخته شود سپس‌آنها را به اندازه مناسب ازهم جدا سازیم دراین صورت یك قوس نورانی بسیار قوی میان دو میله تشکیل می‌شود .

کمان الکتریك‌را می‌توان هم با جریان متناوب وهم با جریان مستقیم به‌کارانداخت ولی جریان مستقیم بهتر است ومعمولا یك مقاومت مناسب به طور سری درمدار کمان قرارداده می‌شود[1] . شدت جریان برای میله‌هایی به قطر ۵ میلیمتر در حدود ۴ آمپر است ، بنابراین می‌توان چنین کمانی را با برق ۱۱۰ ولت به‌کارانداخت‌کافی است‌که یك مقاومت ۱۵ اهمی به طورمتوالی درمدار کمان بسته شود .

چون کربن درهوا می‌سوزد کم‌کم فاصله میله‌ها ازهم زیاد می‌شود و بـاید به تدریج میله‌ها را به هم نزدیك کردواین‌کارممکن است به طور خودکارصورت گیرد .



شکل ۵-۲- لامپ بر اساس کمان الکتریکی برای فانوس دریایی . درون لامپ از گاز گزنون تحت فشار زیاد پر شده است و شدت نور آن یك میلیون کاندلا است (کاندلا واحد شدت نور است که تقریباً در حدود شدت نور یك شمع است) .

۱- اگر از برق شهر برای به‌کار انداختن‌کمان استفاده می‌شود باید با ترانسفورماتور کاهندهٔ پتانسیل ، اختلاف پتانسیل را به اندازه لازم پایین‌آورد .

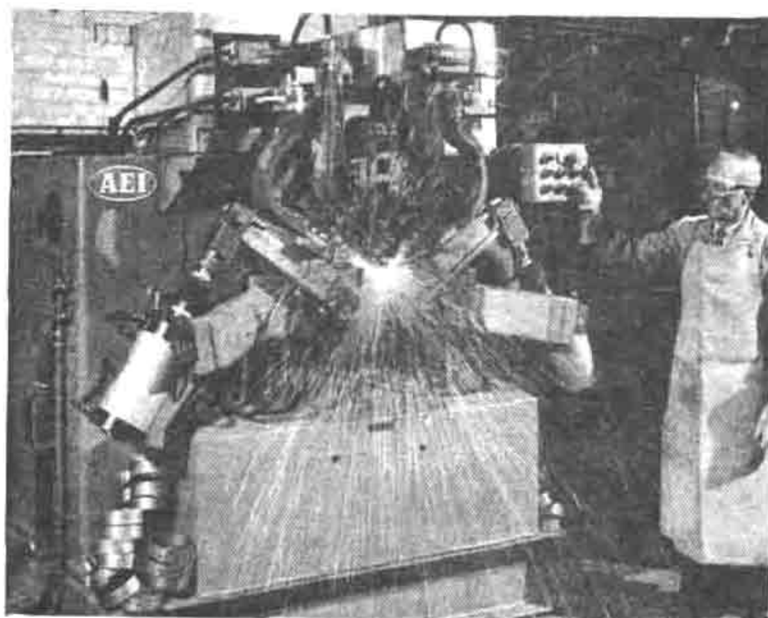
به وسیله کمان الکتریکی به میزان قابل توجهی متداول شد ومخترعین آن زمان مهارت زیادی درمکانیسم روشن کردن وجلو و عقب بردن میله‌ها به طور خودکار نشان دادند . ولی این گونه تولید روشنایی گران و پر خرج بود وباآن که ازسال ۱۸۸۰ میلادی لامپهای با رشته سیم ملتهب جای آنها راگرفت استفاده ازلامپهای کمان الکتریکی جهت روشنایی خیابانها و کارخانه‌ها و تئاترها تا قرن بیستم ادامه یافت .

امروزه کاربرد این لامپها محدودبه نورافکنها و لامپهای پروژکتورهای قوی است آن هم در جایی که احتیاج به نوربسیارقوی ومتمرکز است .

شکل ۵ـ۲ یك لامپ فانوس دریایی بر اساس کمان الکتریکی را نشان می‌دهد که الکترودهای آن

دمای کمان الکتریکی درحدود $3700°C$ است. این دما بالاتر از نقطه ذوب فلـزات است . بنابراین مهمترین کاربرد کمان الکتریکی در کوره‌های الکتریکی وجوشکاری است وشکل ۵ـ۳ یك دستگاه جوشکاری براساس کمان الکتریکی را درحال کارنشان می‌دهد .

دونوع کوره الکتریکی متداول است : کوره‌های بزرگ که درآنها ازمیله‌های ضخیم کربن استفاده می‌ـشود و ویژه ذوب فولاد است وکوره‌های کـوچك که برای تحقیقات علمی ساخته می‌شوند . این کـوره‌ها معمولا دارای یك الکترود ازجنس تنگستن هستند و فلزی کـه بـاید ذوب شود الکترود دیگر را تشکیل می‌دهد .



شکل ۵ـ۳ـ دستگاه جوشکاری خودکار با دو الکترود در حال کار

۲ـ لامپهای معمولی ـ دراین لامپها عـامل تبدیل انرژی الکتریکی به نور یك رشته سیم بسیار باریك و مقاومت‌دار است که در اثر عبورجریان برق افروخته می‌شود.

اختراع اصولی این لامپها درسال ۱۸۷۹ میلادی توسط ادیسون صورت گرفت. در نخستین سالهـای اختراع، یك رشته باریك کـربن را در یك حباب شیشه‌ای قرارمی‌دادندوبرای‌این‌که رشته نسوزد هوای درون لامپ را تخلیه می کردند. وقتی که جریان برق ازاین رشته‌کربن می گذشت افروخته شده وتولیدنور می کرد. عیب این لامپ‌آسیب‌پذیری زیاده از حدآن بود به طوری که ناگهان رشته‌کربن قطع می‌شد. این کیفیت سبب شد که یك مخترع لامپی با ۵ رشته‌کربن بسازد وهروقت یك رشته‌قطع می‌شد رشته دیگر خود بخود وارد عمل می گشت تااین‌که هرپنج رشته مصرف می‌شد.

درآغازقرن‌بیستم میلادی‌دریافتند که اگر به جای رشته کربن سیم تنگستن بـه کار رود نور حاصل از افروختگی‌آن بیشتراست. زیرا تنگستن فلـزی است که نقطه ذوب آن بالا و درحدود $۳۴۰۰^{\circ}C$ است. بنابراین می‌توان دمای آنرا تا $۲۰۰۰^{\circ}C$ (به جای $۱۳۰۰^{\circ}C$ در رشته‌کربن) بالا برد.

لامپهای قدیمی را ازهوا تخلیه می کردند ولی بیشترلامپهای امروزی را با کمی نیتروژن یا ارگن با فشارکم پرمیکنند. این‌گاز ازبخار شدن فلزدر دمای التهاب تا اندازه‌ای جلو گیری می کند ولامپ را قادر می‌سازد که درچنین دمای بالایی‌کار کند.

درلامپهای رشته‌کربنی‌قدیمی‌قسمت‌بیشترانرژی الکتریکی به‌گرما وفقط قسمت‌کوچکی ازآن به نور تبدیل می شد درصورتی کـه لامپ بـا رشته تنگستن (خالی از هوا) با همان میزان مصرف انرژی دارای بازده روشنایی دوبرابر است.



شکل ۵ـ۴ـ نمونه‌ای قدیمی از لامپ برق ادیسون

یکی از معایب لامپهایی‌که باگازپرشده‌اند این است‌که جریان همرفتی (کنوکسیون) گاز درآنهارشته سیم را سرد می‌کند. برای رفع این عیب رشته رابه صورت سیم پیچ در می‌آورند تا فضای کـوچکتری اشغال‌کند وافت‌دمای سیم دراثر همرفتی تقلیل یابد. لامپهای سیم‌پیچ‌دار ازسال ۱۹۳۴ میلادی واردبازار شده‌اند وبازده روشنایی‌آنها سه برابر لامپهای رشته کربنی است.

یکی دیگر ازعیبهای لامپ با رشته تنگستن این است‌که این فلـز در دمـای التهاب بخار می‌شود و روی جدار درونی لامپ می‌نشیند وآنرا تیره می ـ سازد. در لامپهای پروژکتور معمولا مقدار کمی ید درون لامپ قرار می‌دهند تا بـا بخار تنگستن، یدید تنگستن ایجادکند و هنگامی‌که لامپ روشن می‌شود به صورت بخار درآید.

۳ـ لامپ بر اساس تخلیه الکتریکی ـ اگر لوله شیشه‌ای‌که دو الکترود فلزی در دو سرآن نصب

شده است از گازی با فشار کم پرشده باشد وبین این دو الکترود اختلاف پتانسیل نسبتاً زیادی برقرار شود گاز درون لوله با رنگی که از ویژگیهای آن است روشن می‌شود . این لوله با مشخصاتی که دارد یك لامپ روشنایی را تشکیل می‌دهد و آن را «لامپ تخلیه الکتریکی» می‌نامند .

میدان الکتریکی که بین دو الکترود در گاز به وجود می‌آید سبب می‌شود که یونهای تولید شده در گاز با سرعت زیاد حرکت کنند در اثر برخورد این یونها به ملکولهای گاز نور تولید می‌شود[1] و رنگ نور تولید شده تابع جنس گاز است . مثلا اگر گاز داخل لوله نئون باشد رنگ نارنجی مایل به قرمز تولید می‌گردد که در تابلوهای اعلانات تجارتی زیاد دیده می‌شود[2] .

استقبال موفقیت‌آمیز از این لامپها در امر تجارت سبب شد که سازندگان توجه خود را به تکمیل و توسعه لوله‌های تخلیه الکتریکی برای روشنایی اماکن عمومی معطوف دارند .

یکی از نتایج تحقیقات آنان اختراع لامپ بخار سدیم و لامپ بخار جیوه است که اولی نور زرد مایل به نارنجی و دومی نور سبز مایل به آبی تولید می‌کند و انرژی نورانی آنها برای هر وات مصرف الکتریسیته پنج‌بار بیشتر از لامپ با رشته ملتهب است و از این لامپها برای روشنایی خیابانها استفاده می‌شود .

۴- لامپهای فلوئورسنت ـ لامپ بخار جیوه علاوه بر تولید نور مرئی رنگی که به‌آن اشاره شد ، پرتوهای فوق بنفش نیز تولید می‌کند . وقتی این پرتوها که خود نامرئی هستند بر روی برخی از مواد معدنی بتابند این مواد با رنگهای مختلف می‌درخشند . این خاصیت را «فلوئورسانس» می‌نامند . بنابراین اگر جدار داخلی لوله لامپ تخلیه الکتریکی با لایه‌ای ازمخلوط گردهای چنین موادی پوشانیده شود موقع روشن شدن لامپ ، این لایه نور سفید یا رنگی پخش می‌کند .

چون بعضی از این گردها دارای ترکیبات بریلیوم (که به شدت سمی هستند) می‌باشند هنگام دست‌زدن به لوله شکسته باید ازآلوده شدن دست به این مواد اجتناب کرد . لامپهای فلوئورسنت ازلامپهای معمولی گرانترند ولی بازده آنها سه بار بیشتر است .

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) واحدهای زیر را تعریف کنید:

ولت، کولن، وات وکیلووات ساعت

۲) با توجه به تعریفی که از ولت می‌دانید رابطه‌ای بنویسید که میزان تولید انرژی

۱- این پدیده را در بخش ۱۵ تحت عنوان «چگونه اتم نورتابش می‌کند» خواهید دید .

۲- تخلیه الکتریکی درون گازها در بخش ۹ به تفصیل شرح داده شده است .

گرمایی را در واحد زمان در سیمی به مقاومت R اهم هنگامی که ازآن جریانی به شدت I آمپر می گذرد نشان دهد.

۳) دو مقاومت یکسان ویك انباره که مقاومت داخلی آن ناچیز است دراختیاردارید. اگر این دو مقاومت را یك بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی بـه دوسر انباره ببندید، نسبت مقدار گرمایی که در دوحالت درمجموعهٔ دومقاومت در زمـان معین تولید می‌شود چـه خواهد بود؟

۴) با رسم یك مدارالکتریکی نشان دهیدکه چگونه می‌توانید مقاومت و توان یك لامپ الکتریکی ۱۲ ولتی را هنگامی که روشن است با استفاده از یك ولت سنج و آمپرسنج به دست آورید.

۵) کنتور برق کدام یك ازکمیتهای زیر را نشان می‌دهد.

الف ـ اختلاف پتانسیل ب ـ مقدارالکتریسیته ج ـ توان‌الکتریکی دـ انرژی‌الکتریکی

دربارهٔ جواب درستی که انتخاب می کنید توضیح دهید.

۶) یك لامپ ۶۰ واتی ویك لامپ ۱۰۰ واتی هردوبا برق ۱۱۰ ولت‌کار می کنند مقاومت کدام یك از این دولامپ بیشتر است ؟

۷) با رسم یك شکل ساده ، طرز اتصال میله‌های کربن یك‌کمان الکتریکی را به‌دو سریك باتری نمایش دهید .

۸) شکل ساده‌ای از یك لامپ برق معمولی با رشته تنگستن رسم کنید .

۹) در هر اسباب الکتریکی مانند اتو ، بخاری ، رادیو، تلویزیون و. . . . یك قطعه سیم باریك به نام فیوز از نوع فلز یاآلیاژی که نقطه ذوب‌آن پایین است (و معمولا در یك لوله کوچك شیشه‌ای حفاظت می‌شود) می‌گذارند که اگر جریان ازحد معینی بگذرد گـرمایی که در سیم فیوز تولید می‌شودآنرا قطع نماید . علت لزوم این فیوز را توضیح دهید. چرا در موقع تعویض فیوز باید دقت‌کردکه فیوز درست همان ظرفیت جریان را (که برحسب‌آمپر روی آن نوشته شده است) داشته باشد ؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) یك لامپ الکتریکی با اختلاف پتـانسیل ۱۲ ولت تـوان ۴۸ وات مصرف می کند. مطلوب است:

الف: شدت جریان درلامپ؛

ب: مقاومت لامپ هنگامی که روشن است؛

ج: مقدار انرژی (برحسب ژول) که در یك ساعت درآن به مصرف می‌رسد.

۲) یك کتری الکتریکی ۲۲۰V و ۲ kW وقتی که ازآب‌سرد پرشود ۵ دقیقه طول می‌کشد تا به جوش آید.

الف: مقاومت الکتریکی دستگاه گرماده آن چند اهم است.

ب: اگر کتری به‌طور متوسط روزی سه‌بار برای جوش‌آوردن آب سرد به‌کار رود قیمت مصرف متوسط برق‌ماهانهٔ‌آن ازقرار هر کیلووات ساعت ۲/۵ ریال چیست؟ (از هر گونه اتلاف گرما صرف‌نظر کنید).

۳) چه مدت لازم است تا یك آب گرمکن الکتریکی به‌توان الکتریکی ۳ کیلووات، دمای ۱۵۰ لیتر آب راکه دریك مخزن مسی به جرم ۲۰ کیلوگرم موجود است از ۱۵°C بـه ۷۰°C برساند. گرمای ویژهٔ آب ومس به‌ترتیب برابر ۴۲۰۰ و ۳۹۰ $\frac{\text{ژول}}{\text{کیلوگرم . درجه}}$ است. فرض‌کنید ۲۰ درصد از انرژی الکتریکی آب گرمکن تلف می‌شود .

۴) توان یك توربو-آلترناتور (دستگاه مولد برق که با توربین بخارکارمی‌کند) 2×10^5 کیلووات است ودر هر ساعت ۴۸ تن سوخت برای تولید بخار لازم مصرف می‌شود . اگر توان گرمایی سوخت مصرفی ۲۲۰۰۰ کیلو ژول برای هر کیلوگرم باشد بازده این تأسیسات را حساب کنید .

پاسخ به‌پرسشهای متن

۵-۱) می‌دانیم هر کالری تقریباً معادل ۴/۲ ژول یا هـر ژول معادل $\frac{1}{4/2} \simeq 0/24$ کالری است . کافی است انرژی گرمایی را برحسب ژول حساب‌کنیم وعدد حاصل را در ۰/۲۴ ضرب نماییم .

۵-۲) داریم :

$$\begin{cases} V = IR = 240\,V \\ P = VI = 60\,W \end{cases}$$

از رابطهٔ پایینی نتیجه می‌شود :

$$I = \frac{P}{V} = \frac{60}{240} = \frac{1}{4}A$$

و از رابطهٔ بالایی نتیجه می‌شود

$$R = \frac{V}{I} = \frac{240}{\frac{1}{4}} = 960\,\Omega$$

۵-۳) وات ۷۰۰ = (۴ × ۱۰۰) + (۵ × ۶۰) = توان کل مصرف شده

ساعت ۸ = زمان

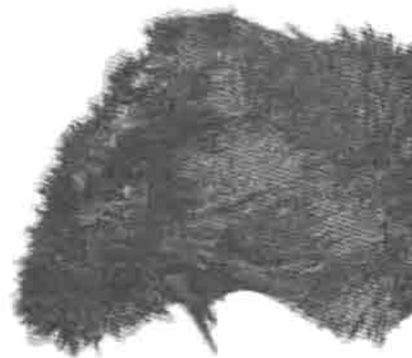
انرژی کل مصرف شده $= ۷۰۰ \times ۸ = ۵۶۰۰$ وات ـ ساعت $= \frac{۵۶۰۰}{۱۰۰۰} = ۵/۶$ کیلووات ساعت

قیمت انرژی مصرف شده $= ۵/۶ \times ۲/۵ = ۱۴$ ریال

۵-۴) گرمایی که در اثر عبور جریان برق در بخاری تولید می‌شود در اثر تابش و کنوکسیون به محیط اطراف آن منتقل می‌گردد و بین گرمای تولید شده و گرمای داده شده به محیط تعادل برقرار می‌شود در نتیجه دمای دستگاه گرماده ثابت می‌ماند.

٦

آهن‌ربا



شکل ۶-۱- سنگ آهن‌ربای طبیعی که براده‌های آهن را جذب کرده است.

تقریباً از شش قرن پیش از میلاد مسیح یونانیان می‌دانستند که یك نوع سنگ آهن طبیعی، که امروز **ماگنتیت**[1] نامیده می‌شود، تکه‌های کوچك آهن را می‌رباید. بعدها درقرون وسطی، دریانوردان باقراردادن قطعه‌ای ازسنگ آهن‌ربای طبیعی روی یك تختهٔ کوچك و شناور ساختن آن برسطح آب درون یك ظرف، قطب‌نماهای ساده‌ای ساختند. همین قطب‌نماهای ابتدایی وساده اساس قطب نماهای حساس و دقیق امروزی را تشکیل می‌دهند که درهواپیمایی و دریانوردی به کار می‌روند.

ماگنتیت درواقع اکسیدآهن طبیعی (به‌فرمول Fe_3O_4) است وکلمهٔ مغناطیس که به‌آهن‌ربا اطلاق می‌شود از ماگنزیا[2] (نام محلی که سنگ آهن‌ربای طبیعی در آنجا کشف شده) گرفته شده است.

قطبهای آهن ربا

شکل ۶-۱ یك قطعه سنگ آهن‌ربای طبیعی رانشان می‌دهد که براده‌های آهن به‌آن چسبیده‌اند. تراکم این براده‌ها به‌ویژه در دو محل بیشتراست. می‌دانید هرگاه آهن‌ربای تیغه‌ای معمولی دربرادهٔ آهن فرو برده شود براده‌ها بیشتر به دو سر آن می‌چسبند و درقسمت میانی تیغه اگر هم‌برادهٔ آهن جذب شده باشدبسیارکم است. یعنی: در هر آهن‌ربا مکانهایی وجود داردکه در آنها اثر نیروی جاذبهٔ مغناطیسی بیش از جاهای دیگر ظاهر می‌شود. این مکانها راقطبهای آهن ربا گویند.

نامگذاری قطبهای آهن‌ربا.محورمغناطیسی یك آهن‌ربا ـ نصف‌النهار مغناطیسی

هرگاه یك آهن‌ربای تیغه‌ای با نخ آویخته شود به‌طوری که بتواند آزادانه در یك سطح افقی به هرطرف بچرخد پس از چند نوسان در راستای تقریبی شمال وجنوب قرارمی‌گیرد. در این‌وضعیت

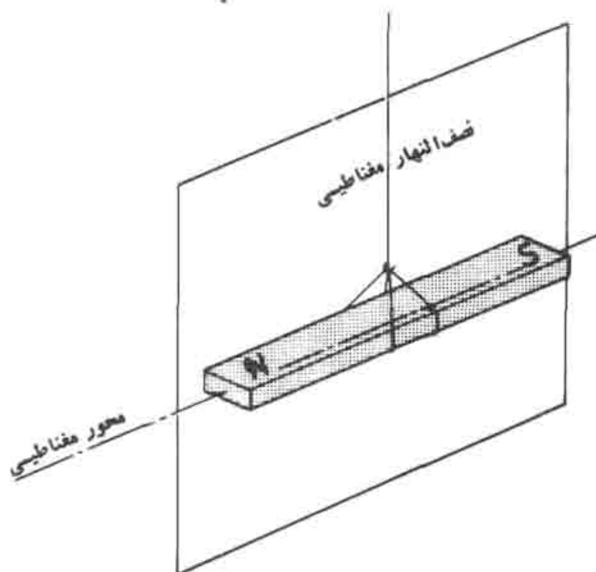
۱- Magnetite ۲- Magnesia

قطبی از آهن ربا که به سوی شمال متوجه است قطب شمالیاب یا به‌طور ساده قطب N و قطبی که به سوی جنوب متوجه است قطب جنوبیاب یا قطب S نامیده می‌شود.

پرسش ۶ - ۱ - آهن‌ربای آویخته‌شده‌دراثر چه‌عاملی در راستای تقریبی شمال و جنوب قرار می‌گیرد؟

دراین حالت برای آهن‌ربای‌آویخته شده می‌توان محوری در نظر گرفت که خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا دراطراف این‌محورمتقارن باشد. بدیهی‌است پس ازآن‌که آهن‌ربا دروضع ثابتی ایستاد این‌محور نیز در راستای تقریبی‌شمال وجنوب قرارمی‌گیرد. صفحهٔ قائمی‌که از این محورفرضی می‌گذرد صفحهٔ نصف‌النهار مغناطیسی نامیده می‌شود (شکل۶-۲).

پرسش۶-۲-باسابقهٔ آشنایی که‌ازآهن‌ربا دارید بگویید اثر قطبهای یك آهن‌ربا برقطبهای آهن‌ربای دیگر چگونه است؟



شکل ۶-۲- نصف‌النهار مغناطیسی صفحهٔ قائمی است که‌از محور مغناطیسی آهن‌ربای آویخته شده‌ای که در اثر میدان آهن‌ربایی زمین در راستای تقریبی شمال و جنوب ایستاده است می‌گذرد.

تشخیص قطبهای یك آهن‌ربا

برای تشخیص قطبهای یك‌آهن‌ربا باید هریك از قطبهای آن را به نوبت به‌قطبهای شناخته شدهٔ آهن‌ربایی که آویزان است نزدیك کرد. اگر دو قطب همنام باشند یکدیگر را می‌رانند. ولی اگر یکدیگر را بربایند نمی‌توان مطمئن شدکه دو قطب غیرهمنامند،زیرا یك‌تکه آهن‌هم که‌آهن‌ربانیست‌جذب هریك از قطبهای آهن‌ربا می‌شود. بنابراین برای اطمینان در تشخیص قطبهای یك آهن‌ربا باید از خاصیت دفع دو قطب استفاده کرد.

مواد مغناطیسی و غیرمغناطیسی

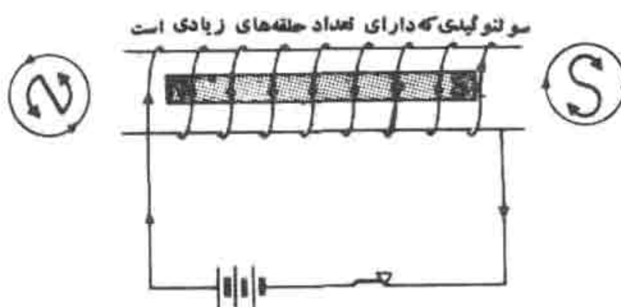
می‌دانید علاوه برآهن، دو فلزنیکل وکبالت نیز جذب آهن‌ربا می‌شوند. سه عنصرآهن وکبالت و نیکل و بعضی‌از آلیاژهای آنهاکه به‌شدت جذب آهن ربا می‌شوند موادمغناطیسی یا در اصطلاح دانش فیزیك، مواد فرومانیتیك[۱] نامیده می‌شوند. موادی مانند مس، برنج، شیشه، چوب که جذب آهن‌ربا نمی‌شوند مواد غیرمغناطیسی نام دارند. با وجود این آزمایش نشان داده است که مواد غیر-مغناطیسی هرگاه در میدان آهن‌رباهای بسیار قوی واقع شوند خاصیتهای مغناطیسی ضعیفی در آنها

۱- Ferromagnetic

پدیدار می‌شود. ما پاره‌ای از این خاصیتها را در پایان این فصل بررسی خواهیم کرد.

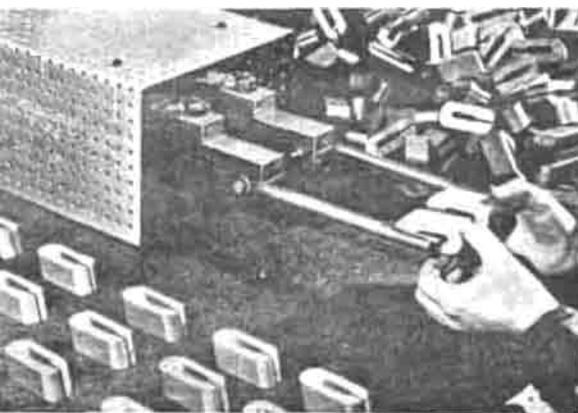
آهن‌ربا کردن به‌وسیلهٔ جریان الکتریسیته

بهترین روش برای ساختن آهن ربای دائمی استفاده از خاصیت مغناطیسی جریان الکتریسیته است **(این خاصیت را در بخش ۷ خواهید دید)**. شکل (۶-۳) طرز آهن‌ربا کردن یك تیغهٔ فولادی راکه درون سیم پیچی به‌شکل قرقره‌قرار گرفته‌است نشان می‌دهد. برای این منظوریك سیم پیچ شامل ۵۰۰ دور (یا بیشتر) سیم مسی روپوش‌دار ویك باتری ۶ یا ۱۲ ولت و یك کلید که مطابق شکل



شکل ۶-۳- طرز آهن‌رباکردن یك تیغهٔ فولادی به‌روش الکتریکی.

به‌دنبال هم بسته شده‌اند مناسب است. پس ازقرار دادن تیغهٔ فولادی درون سیم پیچ، کلید را که از پیش باز است در مدت کوتاهی می‌بندند و بعد باز می‌کنند. همین مدت کوتاه کافی است که تیغه آهن‌ربا شود وخاصیت مغناطیسی مدتها در آن‌باقی بماند. نباید کلید را در مدت طولانی بسته نگاه داشت زیرا عبور جریان به‌مدت طولانی نه تنها تیغه را بیشتر آهن‌ربا نمی‌کند بلکه سبب داغ شدن



شکل ۶-۴- طرز ساختن آهن‌ربای تجارتی.

سیم‌پیچ و سوختن‌آن می‌گردد. نوع قطبهای تیغه بستگی به جهت جریان در سیم پیچ دارد. برای تعیین آنها می‌توانیم دستور زیر را به‌کار بریم:

به هر یك از دو سر تیغه که درون سیم پیچ است نگاه می‌کنیم: اگر جهت جریان در حلقه‌های سیم پیچ هم جهت با حرکت عقربه‌های ساعت باشد، آن سر میله که مجاور ماست قطب S است و اگر جهت جریان در خلاف جهت عقربه‌های ساعت باشد، این سر قطب N است.

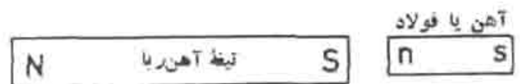
برای به خاطر سپردن این دستور می‌توان دو علامت S و N را که در شکل ۶-۲ نمایش داده شده است در نظر گرفت.

شکل ۶-۴ طرز ساختن آهن رباهای تجارتی به شکل U یا C رانشان می‌دهد. برای این منظور جریان‌شدید الکتریسیته‌را ازیك قطعه مس کلفت‌که، **مطابق شکل در وسط‌آنها قرار می‌گیرد درکسری از ثانیه می‌گذرانند.**

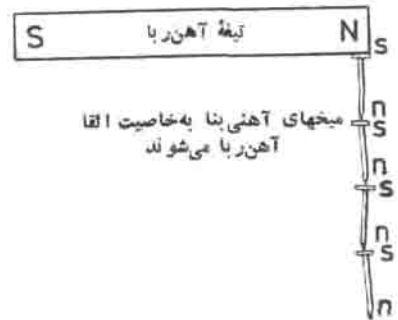
پرسش ۶-۴- چرا بعضی از آهن‌رباهای دائمی را به‌شکل نعل اسب می‌سازند؟

آهن‌ربا کردن به‌وسیلهٔ القا

هر گاه تیغه‌ای فولادی که خاصیت مغناطیسی ندارد نزدیک یکی از قطبهای آهن‌ربایی قرار داده شود (شکل ۶-۵) یا به‌آن متصل گردد در تیغه خاصیت مغناطیسی به‌وجود می‌آید که پس از دور کردن آهن‌ربا، درتیغه باقی می‌ماند. دراین صورت می‌گوییم تیغه به‌وسیلهٔ القا آهن‌ربا شده است.



شکل ۶-۵- آهن‌ربا کردن به وسیلهٔ القا



شکل ۶-۶- میخهای آهنی که به وسیلهٔ القا آهن‌ربا شده و زنجیر مغناطیسی تشکیل داده‌اند.

در این عمل تیغه طوری آهن‌ربا می‌شود که قطبهای غیرهمنام مجاور هم قرار گیرند (به شکل مراجعه شود).

پرسش ۶-۴- چگونه می‌توان این واقعیت را آزمود؟

شکل ۶-۶ چند میخ را نشان می‌دهد که به‌دنبال هم جذب قطب N یك آهن‌ربا شده و یك زنجیر مغناطیسی تشکیل داده‌اند.هریك از میخها که در زنجیر مغناطیسی قرار دارد بنا به‌خاصیت القای مغناطیسی به میخ دیگر جذب شده است و نیروی جاذبهٔ بین آنها به علت وجود قطبهای غیر همنامی است که مجاورهم قرار می‌گیرند. بنابراین علت جذب شدن یك قطعه آهن یا فولادبه آهن‌ربا این است که‌در اثر نزدیك شدن به‌آهن‌ربا نخست در آن به وسیلهٔ القا خاصیت مغناطیسی به وجود می‌آیدسپس جذب آهن‌ربا می‌شود.

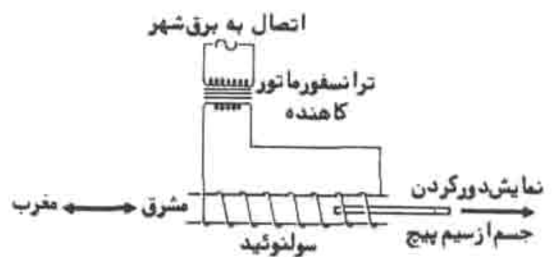
دراینجا جالب‌است که خاصیت القای مغناطیسی را با خاصیت القای الکتریسیته که در بخش ۱ دیدیم مقایسه کنیم . درآن جا دیدیم که اگر بار الکتریکی مشخصی را به یك میله فلزی یایك کره فلزی که روی پایه عایقی قرار دارد نزدیك کنیم درآن سر میله یادر آن‌طرف کره که مجاوربار الکتریکی القاکننده است الکتریسیته ازنوع مخالف پیدا می‌شود واین درست مشابه چیزی است که در القای خاصیت مغناطیسی پیش می‌آید . یعنی‌آن سر میله‌که نزدیك به قطب آهن - ربای القاکننده است قطب مخالف می‌شود . ولی‌بین این دو پدیده یك فرق اساسی وجود دارد و آن این است که دو بار الکتریکی القا شده مثبت و منفی را می‌توان از هم جدا کرد درصورتی که مجزا کردن دو قطب‌آهن‌ربا از هم غیر ممکن است .

از بین بردن خاصیت مغناطیسی

در سالهای پیش آموختید که اگر آهن ربایی را حرارت دهند یاچکش‌کاری کنند از شدت خاصیت مغناطیسی آن کاسته می‌شود. برای‌ازبین‌بردن‌خاصیت مغناطیسی یك آهن‌ربا می‌توان آن را تا حد سرخ شدن حرارت‌داد، سپس در راستای مشرق و مغرب نگاه داشت تا سرد شود. ما این روش را برای از بین بردن خاصیت‌مغناطیسی توصیه نمی‌کنیم، زیرا حرارت دادن، سبب ضایع شدن فولاد می‌گردد.

هر نوع ضربهٔ شدید مانند افتادن آهن‌ربـا یا چکش‌کاری آن، به‌ویژه اگـر در راستای مشرق و مغرب قرار داده شود، سبب ضعیف شدن خـاصیت مغناطیسی می‌شود.

بهتریـن روش برای از بین بـردن خـاصیت مغناطیسی در یك جسم این است که آن را درون سیم پیچی در راستای مشرق و مغرب قرار دهند و از سیم پیچ جریان برق متناوب بگذرانند و در حالی که جریان ازسیم پیچ می گذرد جسم را در راستای مشرق ومغرب ازسیم پیچ دورکنند (شکل ۶ ـ۷). برای این منظور جریان ۱۲ ولت تـا ۲۴ ولت که توسط ترانسفورماتور از برق شهر تأمین می‌شود کافی است. جـریـان متناوب در هـر دورهٔ تناوب



شکل ۶ـ۷ـ ازبین بردن‌خاصیت مغناطیسی‌توسط جریان متناوب.

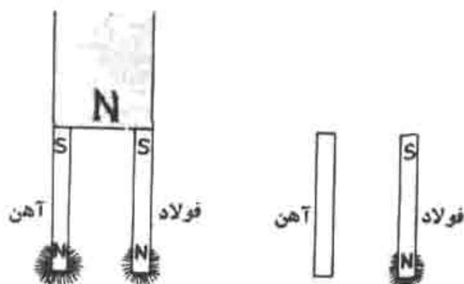
مقداری از خاصیت مغناطیسی را از بین می‌برد و این کار در هر ثـانیه ۵۰ مرتبه تکرار می‌شود تا وقتی که تمام خاصیت مغناطیسی جسم از بین‌برود (جریـان متناوب را در فصلهـای بعد خـواهـید شناخت).

پرسش ۶ـ۵ـ چرا باید آهن‌ربا رادرراستای مشرق و مغرب قرار داد؟

مقایسهٔ خواص مغناطیسی آهن و فولاد

آهن و فـولاد از نظـر خـواص مغناطیسی تفاوتهایی دارند که تشخیص آنها مهم است. آهن خـالص را معمولا آهن نرم گـویند زیرا آهن نرم تفته (سرخ شده در اثر گرما) را می‌توان به‌آسانی چکش کاری‌کرد و به‌شکل دلخواه در آورد. فولاد، آلیاژی است، از آهـن نـرم و مقدار درصد کمی کربن‌و از آهن خالص خیلی سخت‌ترو محکمتر است برای بـررسی خـواص مغناطیسی آهن و فولاد دو تیغهٔ یکسان، یکی ازآهن ودیگری ازفولاد راکه‌از پیش‌خاصیت مغناطیسی نداشته‌باشند(طبق‌شکل ۶ـ۸) به‌یکی از قطبهای یك آهن‌ربا وصل مـی‌کنیم. هر دو تیغه بـه وسیلهٔ القا آهن ربـا می‌شوند. هرگاه انتهای آزاد آنها را در برادهٔ آهن فرو بریم تیغهٔ آهـن اندکـی بیش از تیغهٔ فولادی برادهٔ آهن‌جذب می‌کند. بنابراین اگـر نیروی آهـن‌ربا کننده بـرای آهن و فولاد یکی باشد شدت خاصیت مغناطیسی القایی‌درآهن خالص اندکی‌بیش از فولاد است.

هرگاه دو تیغه را بین انگشتان دست محکم نگـاه داشته و آهن‌ربـا را از آنها دور کنیم تمام براده‌های آهن چسبیده به تیغهٔ آهنی فرو می‌ریزند در صورتی که از براده‌های چسبیده به‌تیغهٔ فولادی فقط مقدارکمی می‌ریزد. این پدیده نشان می‌دهدکه خاصیت مغناطیسی القایی در آهن موقتی و درفولاد دائمی‌است.



شکل ۶ـ۸ـ اختلاف بین خاصیت آهن ربایی در فولاد و آهن.

پرسش ۱-۶-با یك آهن‌ربـا و چند سنجاق که به دنبال هم به آن جـذب شده‌انـد یك زنجیر مغناطیسی تشکیل داده‌ایم. اگر سنجـاق بـالایی را با دست نگاه داشته و آهن‌ربا را از آن جدا و دور کنیم بقیهٔ سنجاقها از هم جدا شده وفرو می‌ریزند. علت را توضیح دهید.

مواد مغناطیسی سخت و نرم و کاربرد آنها

مواد مغناطیسی که در وسایل الکتریکی به کار می‌روند به دو دستهٔ نرم و سخـت دسته بندی می‌شوند. مـواد مغناطیسی نرم آنهایـی هستند که خـاصیت مغناطیسی القـا شده در خـود را زود و آسان ازدست می‌دهند، ولی مواد مغناطیسی سخت آنهایی هستند که خـاصیت مغناطیسی تقریباً دائمی پیدا می‌کنند و هردو دسته دارای اهمیت یکسانند.

تاچند سال پیش برای ساختن آهن‌ربای دائمی از فولاد سخت (آهن ۱تا ۱/۵ درصد کربن)استفاده مـی‌شد. کم‌کم محققین دریافتند که اضافـه کردن مقدار کمی تنگستن وکروم‌وکبالت به‌فولاد،خاصیت مغناطیسی آن را بـه میزان زیاد افزایش می‌دهد! ادامهٔ تحقیق در این زمینه سبب شد کـه آلیاژهای ویژه‌ای بـرای ساختن آهن‌رباهـای دائمی و بسیار قوی تهیه شود. معروفترین‌این‌آلیاژهاآلکوماکس[۱]، آلنیکو[۲] و تیکونال[۳] هستند که از آهن و نیکل و کبـالت و آلـومینیم بـه نسبتهـای مختلف ساخته می‌شوند.

امـروزه از آهن‌ربـاهای دائمی به شکلهای گوناگون و به‌ابعاد مختلف به‌مقدار زیاد درساختن موتورهـای الکتریکـی و دینامـوهـا و اسبابهای انـدازه‌گیری جریـان الکتریسیته استفاده می‌شود. همچنین در ساختمان بعضـی از وسایل الکتریکـی خانگی مانندگوشی تلفن، بلندگوی رادیو وکنتور برق آهن‌رباهای دائمی به‌کار می‌رود. ازطرف‌دیگر در بعضی از وسایل الکتریکی مـانند زنگ اخبار، کلیدهای‌خودکارقطع ووصل‌جریان برق، ترانسفور-ماتورها، آهن‌رباهای الکتریکی و استوانه‌های‌آهنی درون سیم پیچ دیناموها، احتیاج بـه آهن رباهایی است که به سرعت و به‌آسانی هم آهن‌ربا بشوند و هم خاصیت مغناطیسی خود را از دست بدهند. در این گونه اسبابها از مواد مغناطیسی نرم مانندآهن خالص یـا آلیاژهای مومتال[۴] (۷۳ در صد نیکل، ۲۲ در صد آهـن، ۵ درصـد مس) واستالوی[۵] (۹۶ درصد آهن، ۴ درصد سیلیسیم) استفاده می‌شود.

بد نیست بدانید که در سالهای اخیر تحقیقات زیادی روی تبدیل گرد فلزات مختلف به قطعه‌های فلزی به‌وسیلهٔ گرما و فشار زیاد صورت گرفته‌است وبا این روش مواد مغناطیسی نرم یا سخت مختلفی ساخته‌اند که بهترین آهن‌ربـاهای دائمی اکنون از آنها ساخته می‌شود.

میدان مغناطیسی

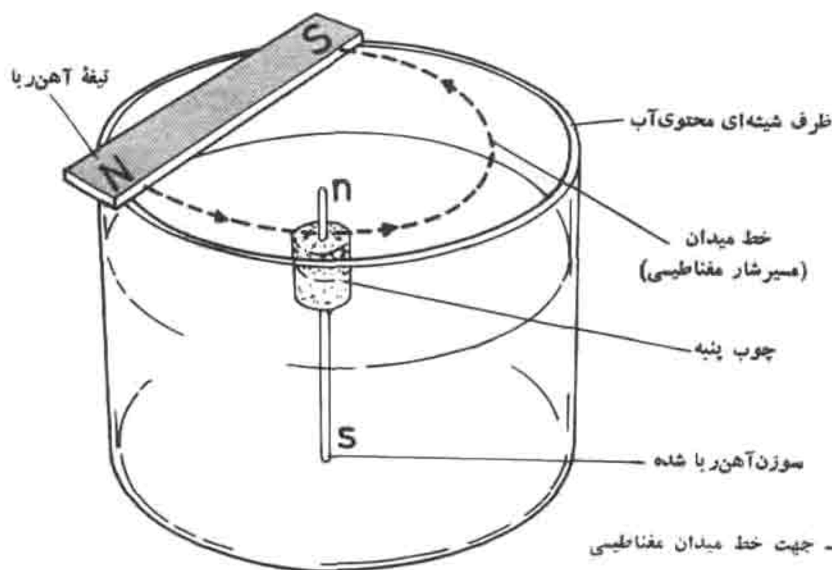
یك آهن‌ربا می‌تواند بـدون این که بـا یك

۱- Alcomax　۲- Alnico　۳- Ticonal

۴- Mumetal　۵- Stalloy

قطعه آهن تماس داشته باشد آن را جذب کند. یا از یك فاصله برروی آهن ربای دیگر اثر کند. نیرویی که یك آهن ربا از فاصله‌های کم یا بیش دور برروی آهن یا آهن ربای دیگر وارد می‌سازد به‌علت وجود میدان مغناطیسی یا میدان نیروی مغناطیسی در اطراف آن است. بنابه‌تعریف، میدان مغناطیسی یك آهن ربا فضای محدود اطراف آهن رباست که در آن فضا آثار مغناطیسی وجوددارد. میدان مغناطیسی را می‌توان باخطهایی به‌نام خطوط میدان مغناطیسی یا خطوط نیروی میدان مغناطیسی نمایش داد. به‌نظر می‌رسد که در میدان مغناطیسی اطراف یك آهن ربا چیزی جریان دارد که به آن شار مغناطیسی یا فلوی[1] مغناطیسی می‌گویند. می‌توان گفت که خطوط میدان مغناطیسی درواقع مسیر شار مغناطیسی از یك قطب به‌قطب دیگرند. وجود نامرئی خطوط میدان یا به عبارت دیگر شار مغناطیسی را می‌توان با چند روش زیر آشکار ساخت.

الف ـ شکل ۶ـ۹ آهن ربای تیغه‌ای NS را نشان می‌دهد که روی لبهٔ تشت شیشه‌ای پر از آبی قرار داده شده است و یك چوب پنبهٔ بزرگ که از سوراخ وسط آن میلهٔ باریك آهن ربا شدهٔ ns گذرانده شده بر سطح آب شناور است . اگر قطب n میله که بالاست نزدیك قطب N تیغهٔ آهن ربا قرار داده شود دو قطب همنام N و n یکدیگر را می‌رانند و میلهٔ آهن ربای شناور ضمن دور شدن از N توسط قطب S کشیده می‌شود و در نتیجه روی یك مسیر منحنی که در شکل نمایش داده شده است حرکت می‌کندو به‌قطب S می‌رسد. این مسیر در واقع نمایش یکی از خطهای میدان مغناطیسی است. اگر قطب S میله بالا باشد و نزدیك قطب S تیغه قرار داده شودحرکت آهن ربای شناور برروی مسیری مانند مسیراولیه ولی‌درجهت

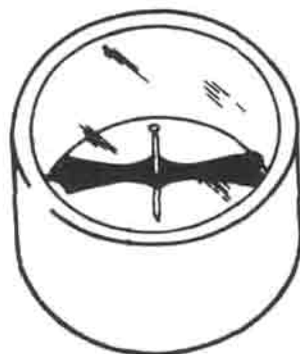


شکل ۶ـ۹ـ جهت خط میدان مغناطیسی

1- Flux

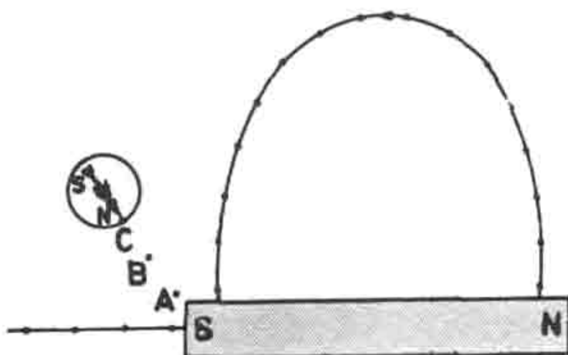
عکس صورت خواهد گرفت. جهت حرکت‌آهن‌ربای شناور بستگی به‌این داردکه کدام قطب سوزن بالا باشد و یکی از دو جهت حرکت را که در واقع جهت خط میدان است می‌توان به عنوان جهت استاندارد انتخاب کرد. بنا بر قرارداد، جهت خط میدان مغناطیسی یا جهت شار مغناطیسی در اطراف آهن‌ربا، جهت حرکت‌یك قطب n آزاد از قطب N به S آهن‌رباست.

ب ـ بایك عقربهٔ مغناطیسی کوچك می‌توان مجموعه‌ای از خطوط میدان مغناطیسی یا به‌عبارت دیگر طیف مغناطیسی یك آهن ربا را رسم کرد. عقربهٔ مغناطیسی کوچك روی پایه قائم کوتاهی قرار دارد و می‌تواند آزادانه در سطح افقی به هر طرف بچرخد. این عقربه درون جعبهٔ‌کوچکی قرار دارد که بدنهٔ آن از یك مادهٔ غیر مغناطیسی مانند برنج ساخته شده و بالا و پایین جعبه شیشه است و مجموعهٔ آن به‌شکل یك قطب نمای ساده است (شکل ۶-۱۰).



شکل ۶-۱۰- عقربهٔ مغناطیسی

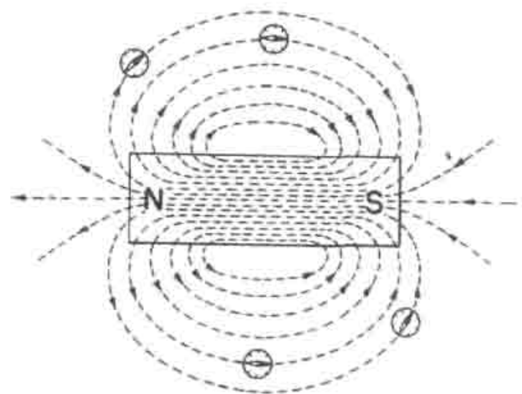
شکل ۶-۱۱ طرز استفاده از این عقربهٔ مغناطیسی را برای رسم خطوط طیف مغناطیسی آهن‌ربای تیغه‌ای NS نشان می‌دهد. آهن‌ربا راروی صفحهٔ کاغذسفیدی قرار داده و آزمایش را ازقطبS شروع می‌کنیم: عقربهٔ‌مغناطیسی‌رانزدیك‌قطبSروی صفحهٔ کاغذ می گذاریم و امتداد دوانتهای n و s آن راروی‌کاغذ با مداد نشان می‌کنیم (مثلا نقاط A وB)، سپس‌عقربه‌راجابه‌جامی کنیم‌تاقطبnآن‌بر B منطبق شودو وضعیت تازهٔ S را با نقطهٔ دیگری (مثلا C)نشان می‌کنیم و این کار را ادامه‌می‌دهیم. نقاط به دست‌آمده را به‌هم وصل می‌نماییم.منحنی به‌دست آمده نمایش خط میدان مغناطیسی یا مسیر فلوی مغناطیسی است.



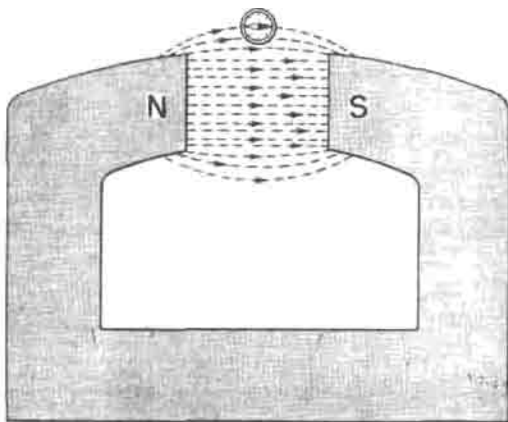
شکل ۶-۱۱- رسم خطوط میدان مغناطیسی به وسیلهٔ عقربهٔ مغناطیسی.

بااین روش می‌توان طیف آهن‌رباهای ضعیف را رسم کرد. در شکل (۶-۱۲)، طیف مغناطیسی کاملتری از یك آهن‌ربای تیغه‌ای و در شکل۶-۱۳ طیف مغناطیسی میان دو قطب یك آهن ربای نعلی شکل نمایش داده شده است. تراکم خطوط میدان در میان این دو قطب نشان می‌دهد که در آنجا میدان مغناطیسی شدیدی وجود دارد.

ج- به وسیلهٔ برادهٔ آهن می‌توان به آسانی طیف مغناطیسی یك آهن‌ربا را تشکیل داد. برای



شکل ۶-۱۲- نمایش طیف مغناطیسی در اطراف یك تیغهٔ آهن‌ربا.

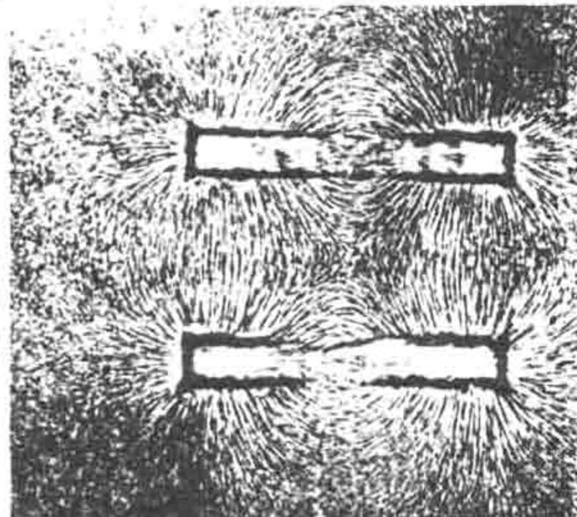


شکل ۶-۱۳- طیف‌مغناطیسی بین دو قطب غیر همنام‌یك آهن‌ربای نعلی شکل.

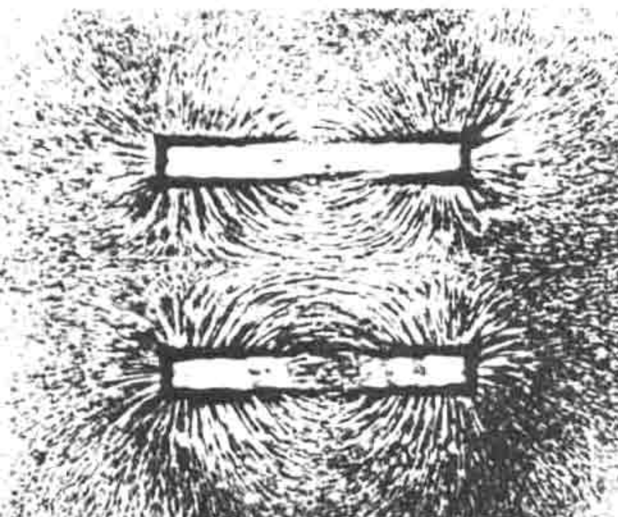
این منظور کافی است آهن‌ربا را روی سطح افقی قرار داده و یك صفحه مقوا روی آن بگذاریم و مقداری برادهٔ نرم‌آهن روی آن‌بپاشیم و ضربه‌های ملایمی به‌چند نقطه از مقوا وارد کنیم تا خطوط میدان مغناطیسی کاملا مشخص شوند و طیف مغناطیسی تشکیل گردد.

پرسش ۶-۷ - برای ضبط دائمی طیف مغناطیسی که به این ترتیب تشکیل می‌شود چه راهی پیشنهادمی‌کنید؟

شکل ۶-۱۴ دو طیف را که به‌وسیلهٔ برادهٔ آهن از دو آهن‌ربا به‌دست‌آمده است نشان‌می‌دهد. در یکی از آنها قطبهای همنام و دردیگری قطبهای



الف ـ قطبهای همنام مقابل هم هستند



ب ـ قطبهای غیرهمنام مقابل هم هستند

شکل ۶-۱۴-طیف مغناطیسی که به وسیلهٔ برادهٔ آهن به‌دست آمده است.

غیر همنام مجاور هم بوده‌اند. شما هم می‌توانید به آسانی نظیر این طیفهارا باکمی دقت تشکیل‌دهید.

علت تشکیل طیف به وسیلهٔ برادهٔ‌آهن را می‌توان چنین توجیه کرد که هر یك از براده‌ها بنا به خاصیت القای مغناطیسی آهن‌ربای کوچکی می‌شود. وقتی که به صفحهٔ مقوا ضربه وارد می‌آید این آهن ـ رباهای کوچك آزادانه چرخیده در راستای خطوط میدان قرار می‌گیرند. با این روش نمی‌توان طیف آهن‌رباهای ضعیف را تشکیل داد زیرا میدانهای ضعیف نمی‌توانند براده‌های آهن را به طور قابل ملاحظه‌ای آهن‌ربا کنند.

کرهٔ زمین مانند یك آهن‌رباست

این فکر که «زمین مانند یك آهن‌رباست» نخستین بار در آخر قرن شانزدهم به‌وسیلهٔ ویلیام گیلبرت[1] ضمن مطالعهٔ خواص مغناطیسی سنگهای مغناطیسی طبیعی کروی شکل ابراز شد. تشابه بین میدان مغناطیسی سنگهای مغناطیسی کروی شکل و میدان مغناطیسی زمین گیلبرت را متوجه این واقعیت کرد که زمین مانند یك آهن‌رباست. مبدأ و علت پیدایش خاصیت مغناطیسی زمین هنوز مورد بحث دانشمندان‌است و آنچه تاکنون دربارهٔ علت وجود این خاصیت در زمین گفته شده است جنبهٔ فرض وحدس دارد. ولی ازنظر آثارمغناطیسی، رفتار زمین به‌این می‌ماندکه درون زمین تیغهٔ‌آهن‌ربای کوتاهی وجود دارد که راستای آن با امتداد محور دوران زمین زاویهٔ کوچکی می‌سازدوقطب S آن در نیمکرهٔ شمالی واقع است (شکل ۶-۱۵). زاویه‌ای که راستای این آهن‌ربای تصوری بامحور زمین می‌سازد موجب می‌شود که عقربهٔ قطب نما راستای واقعی شمال و جنوب (شمال و جنوب جغرافیایی) زمین را نشان ندهد.

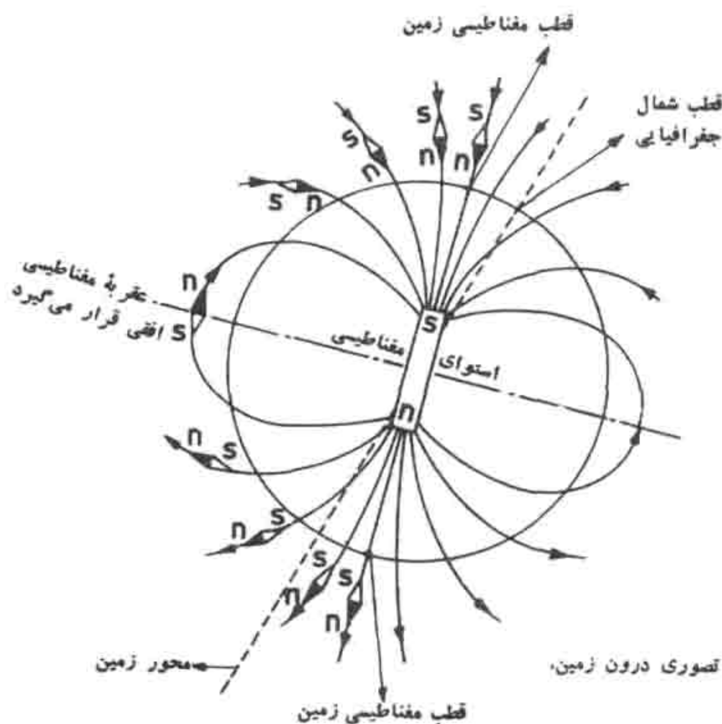
پرسش ۶-۸ـ شمال وجنوب واقعی زمین‌چه نقاطی هستند؟

بنابراین در هر نقطه از سطح زمین، صفحهٔ نصف النهار مغناطیسی (یعنی صفحهٔ قائمی که از محورمغناطیسی عقربهٔ قطب‌نما یا آهن‌ربای‌آویخته شده می‌گذرد و ما آن را درآغاز این فصل تعریف کرده‌ایم) با صفحهٔ نصف‌النهار جغرافیایی (یعنی صفحهٔ قائمی که درنقطهٔ مورد نظر از محور دوران زمین می‌گذرد) زاویه‌ای می‌سازد که آن را زاویهٔ انحراف مغناطیسی گویند. زاویهٔ انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف زمین فرق می‌کند ونکتهٔ جالب‌این است که این زاویه در یك نقطه از زمین هم مقدار ثابتی نیست وباگذشت زمان به‌کندی تغییرمی‌کند.

در کشتیرانی و هواپیمایی، دانستن زاویهٔ انحراف مغناطیسی و چگونگی تغییرات آن در نقاط مختلف زمین اهمیت زیاد دارد. زیرا، در کشتی و هواپیما برای تعیین مسیر حرکت از قطب‌نما استفاده می‌شود. نقشه‌های خاصی‌که زاویهٔ انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف زمین روی‌آنها مشخص شده است نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پرسش ۶-۹ ـ به نظر شماآ یا بایداین گونه نقشه‌ها هرچند سال یك‌بار عوض و با مشخصات جدید چاپ شوند یا این که یك نقشه را همیشه می‌توان به‌کار برد؟

1- William Gilbert (فیزیك دان انگلیسی ۱۶۰۳ - ۱۵۴۴)



شکل ۶-۱۵- آهن‌ربای تصوری درون زمین،

(عقربهٔ مغناطیسی عمودی قرار می‌گیرد)

میل مغناطیسی

هرگاه یك عقربهٔ مغناطیسی از گرانیگاهش بهنخی بدون تاب آویخته شود عقربه علاوه براین که درسطح نصف‌النهارمغناطیسی زمین قرارمی‌گیرد قطب N آن نیز بهسوی پایین متمایل می‌شود و راستای عقربه با راستای افقی زاویه‌ای می‌سازد. این‌زاویه را زاویهٔ‌میل‌مغناطیسی یا به‌اختصار میل مغناطیسی نامیده‌اند. علت این است که وقتی‌عقربهٔ مغناطیسی از گرانیگاهش آویخته شود، گشتاور نیروی وزن آن نسبت به‌محورآویز صفر است وتنها نیروهای مؤثری که سبب چرخش عقربه می‌شوند نیروهای مغناطیسی هستند که بر قطبهای آن اثر می‌کنند. این نیروها سبب می‌شوند که عقربه در راستای واقعی خطوط میدان مغناطیسی زمین قرار گیرد. بنابراین، زاویهٔ میل مغناطیسی زاویه‌ای است که بین راستای خطوط میدان مغناطیسی زمین و راستای افقی درست می‌شود. قطب N عقربه قطب نمای معمولی به طرف پایین متمایل نمی‌شود زیرا، گرانیگاه‌عقربه‌زبرتکیه گاه‌آن‌قراردارد‌وعقربه‌طوری ساخته‌شده‌است که‌در‌وضع‌افقی تعادل آن پایدار بماند.

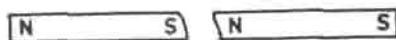
شکل ۶-۱۵ نشان می‌دهد که چگونه زاویهٔ میل در نقاط مختلف سطح زمین تغییر می‌کند. در دو قطب مغناطیسی زمین، عقربه در راستای قائم قرار می‌گیرد در صورتی که در استوای مغناطیسی به‌وضع افقی می‌ایستد.

اندیشه‌های نو دربارهٔ خاصیت مغناطیسی ماده

در قرن هیجدهم میلادی دانشمندان معتقد بودند که خاصیت مغناطیسی به صورت یك سیال به نام سیال مغناطیسی دریك جسم آهن‌ربا وجود دارد یا از یك جسم به‌جسم دیگر منتقل می‌شود.

دراواسط قرن نوزدهم، فرضیهٔ دیگری به نام تئوری مولکولی مغناطیسی توسط ویلهم‌وبر[1] مطرح و جانشین فرضیهٔ سیال مغناطیسی شد. بنا به تئوری مولکولی مغناطیسی هر یك از مولکولهای یك مادهٔ مغناطیسی خود، آهن‌ربای دائمی کوچکی است که مانند آهن‌رباهای بزرگ دارای دو قطب است. وبر، تئوری خود را از این پدیده نتیجه گرفت که هرگاه یك آهن‌ربا از وسط به‌دو نیم‌شود، هر نیمه، آهن‌ربای مستقلی خواهد بود که دارای دو قطب N و S است. اگر عمل تقسیم ادامه یابد هرجزئی که به دست می‌آید باز هم مانند یك آهن‌ربای کامل دارای دو قطب است (شکل ۶-۱۶). بنابراین طبق تئوری وبر، اگر عمل تقسیم آهن‌ربا بی‌نهایت بار ادامه یابد تا به مولکول برسد هر مولکول نیز به‌صورت یك آهن‌ربا دارای دو قطب است که می‌توان آن را دو قطبی مغناطیسی نامید.







شکل ۶-۱۶-هر جزئی که ازشکسته شدن یك آهن‌ربا به دست می‌آید خودآهن‌ربای مستقلی است.

تئوری مولکولی مغناطیسی گام بزرگی در تکامل وتوجیه خواص مغناطیسی ماده‌بود،ولی بعد از وبر دانشمندان خاصیت مغناطیسی اتمها را با استفاده ازاثر مغناطیسی‌جریان‌الکتریسیته توجیه کردند. در شکل ۶-۳ دیدید که برای ساختن یك آهن‌ربا می‌توان از جریان الکتریسیته استفاده‌کرد. از طرف دیگر، دانستید اتمها دارای ذرات بارداری به‌نام الکترون هستند که در مدارهایی به‌دور هستهٔ مرکزی اتم می‌چرخند. رفتار الکترونها به دور هستهٔ اتم مشابه رفتار جریانی است‌که از هر دور سیم در شکل نامبرده می گذرد. همان‌طور که‌عبور جریان الکتریسیته (یعنی‌الکترونها) از حلقه‌های سیم پیچ در آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند[2] حرکت الکترونها هم به دور هستهٔ اتم، در آن میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد. بنابراین می‌توان گفت در هر ماده یك نوع اثر مغناطیسی مشاهده می‌شود هر چند که مقدار آن خیلی کم باشد.

بر اساس این اندیشهٔ نو، مواد به‌ظاهر غیر مغناطیسی (که درآغاز این‌فصل از آنها یاد کردیم) به‌دودستهٔ دیامانیتیك[3] و پارامانیتیك[4] تقسیم می‌شوند. چنان که گفتیم موادی هم که به شدت مغناطیس می‌شوند فرومانیتیك نام دارند.

در زیر نخست مواددیامانیتیك و پارامانیتیك رابه‌اختصار شرح می‌دهیم سپس به‌بحث دربارهٔ‌مواد فرومانیتیك می‌پردازیم.

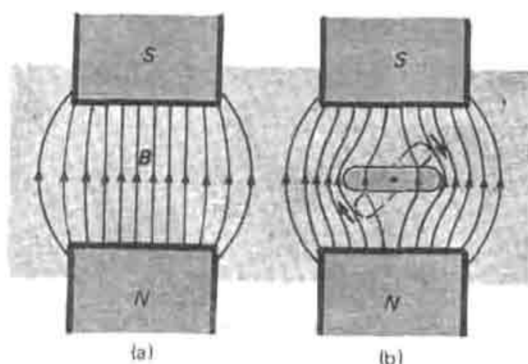
۱- Wilhelm Weber

۲- میدان مغناطیسی حاصل‌ازجریان الکتریسیته‌را در بخش ۷ خواهید دید.

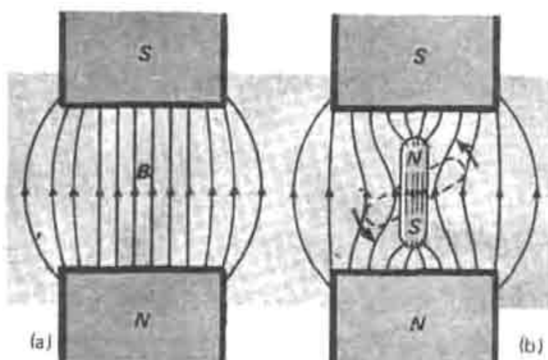
۳- Diamagnetic ۴- Paramagnetic

مواد دیامانیتیك ـ در بسیاری از مواد، الکترونها در دو دسته به تعداد مساوی در خلاف جهت‌هم به‌دور هسته می‌چرخند، بنابراین اگر براین مواد از خارج میدان مغناطیسی اثر نکند، آثار مغناطیسی حاصل از گردش دو دسته الکترون اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند،در نتیجه ماده فاقدخاصیت مغناطیسی است. هرگاه چنین ماده‌ای در یك میدان مغناطیسی قرارگیرد در مدارهای الکترونها آشفتگی مختصری پیدا می‌شود. این آشفتگی‌سبب می‌شود که خاصیت مغناطیسی بسیار ضعیفی درون ماده ظاهر شود که آن را دیامانیتیزم می‌نامند.این مواد را به این جهت دیامانیتیك می‌گویند که اگر قطعه‌ای از آنها به شکل تیغه یا میله در میدان مغناطیسی شدید آویخته شود، بر خلاف مواد فرومانیتیك‌وپارامانیتیك‌راستای آن عمود برراستای خطوط‌نیروی مغناطیسی قرارمی گیرد. (شکل ۶ـ۱۷ـ الف) بنابراین مواد دیامانیتیك ازقطبهای آهن ربا رانده می‌شود. تمام غیرفلزها به جز O_2 وبسیاری از فلزها مانند بیسموت، نقره، طلا، مس، جیوه‌وسرب‌وبسیاری ازنمکها و تقریباً تمام ترکیبات‌آلی دیامانیتیك هستند.

مواد پارامانیتیك ـ در بعضی از مواد عدهٔ الکترونها در دو دسته‌ای که در خلاف جهت به‌دور هسته می‌چرخند مساوی نیستند. در نتیجه خاصیت مغناطیسی هر اتم یا هرمولکول صفرنیست و اتم یا مولکول در حکم یك آهن‌ربای بسیار ضعیف‌است. هنگامی که میدان مغناطیسی خارجی وجود ندارد این اتمها یا مولکولها با بی‌نظمی به طور اتفاقی در ماده قرار گرفته‌اند، در نتیجه ماده فاقد خاصیت مغناطیسی است. ولی اگر ماده در میدان مغناطیسی قرار داده شود تعدادی از اتمها یا مولکولها طوری تغییر وضع می‌دهند که میدان مغناطیسی آنها تقریباً در جهت میدان خارجی قرار می‌گیرد و درنتیجه ماده خاصیت مغناطیسی ضعیفی پیدا می‌کند. این خاصیت ضعیف مغناطیسی را پارامانیتیزم نامند. مواد پارامانیتیك به‌زحمت جذب قطبهای آهن‌ربا می‌شوند. بعضی از گازها به‌ویژه



الف ــ وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دوقطب یك‌آهن ربا پیش از قرارگرفتن وبعداز قرارگرفتن یك‌ماده دیامانیتیك درمیدان



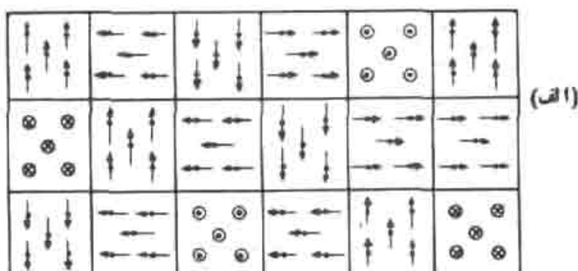
ب ــ وضع خطوط میدان مغناطیسی میان دوقطب یك آهن ربا پیش از قرارگرفتن و بعداز قرارگرفتن یك ماده پارامانیتیك در میدان

شکل ۶ ــ ۱۷ ــ قرارگرفتن یك ماده دیا یا پارامانیتیك در میدان آهن‌ربائی

O_2 و تعدادی از فلزها مانند پلاتین، سدیم، آلومینیم، کروم، منگنز و برخی از نمکهای فلزی پارامانیتیك هستند.

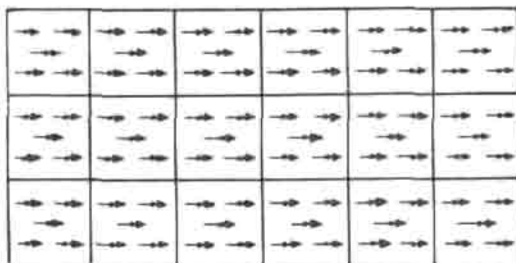
مواد فرومانیتیك ـ در این مواد، اتمها بر خلاف اتمهای پارامانیتیك به طور انفرادی عمل نمی‌کنند بلکه تعدادی که وضع مشترك دارند به هم پیوسته و گروههای کوچکی را تشکیل‌داده‌اند. هر گروه، بخش میکروسکوپی کوچکی از ماده را تشکیل داده است. همهٔ اتمهای موجود دریك‌بخش که در واقع دو قطبیهای کوچکی هستند، طوری ردیف شده‌اندکه هربخش رابه صورت یك مغناطیس میکروسکوپی در آورده‌اند. بنابراین هریك از این بخشها را حوزه[1] یا بخش مغناطیسی می‌نامیم. در مواد فرومانیتیك در حالتی که خاصیت مغناطیسی نداشته باشند محورهای مغناطیسی بخشها به طور نامنظم در جهتهای مختلف قرار گرفته‌اند و اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند **(شکل ۶ ـ ۱۸ ـ الف)** ولی هنگامی که مادهٔ فرومانیتیك (مثلا یك تیغهٔ فولادی) در یك میدان مغناطیسی قرار می گیرد اتمهای موجود در بعضی از این بخشها طوری می‌چرخند که محورهای مغناطیسی آنها تقریباً در راستای میدان قرار گیرد. اگر میدان مغناطیسی به‌اندازهٔ کافی قوی باشد محورهای مغناطیسی تمام بخشها در امتدادمیدان قرارمی گیرد و در این‌حالت ماده بیشترین خاصیت مغناطیسی خودرا پیدامی کند یا به اصطلاح، ازخاصیت مغناطیسی اشباع می‌شود **(شکل ۶ ـ۱۸ـب)**.

در شکل ۶ ـ ۱۸ بخشها برای‌آسانی‌کار به شکل مکعبهای یکسان در نظر گرفته شده‌اند در صورتی که در واقع شکل و حجم این بخشها در



(الف)

الف ـ حالتی‌که جسم‌مغناطیس نیست:اتمهای هربخش، در یك وضع‌قرار دارند ولی محورهای مغناطیسی بخشها به طور اتفاقی در تمام جهتها قرار گرفته‌اند.



(ب)

ب ـ حالتی که جسم، مغناطیس شده است همهٔ اتمها (نه بخشها) طوری چرخیده‌اندکه محورهای مغناطیسی‌بخشها را در راستای میدان قرار داده‌اند.

شکل۶ـ۱۸ـ نمایشی از تئوری جدید مغناطیسی درمواد فرومانیتیك

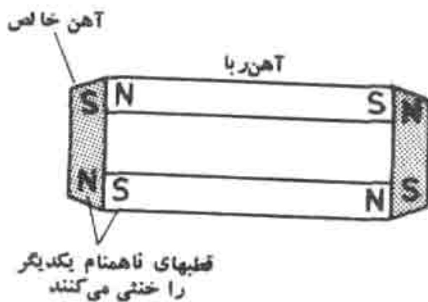
۱- Domain

یک ماده یا در مواد مختلف یکی نیست. در این شکل اتمها که مغناطیسهای کوچکی هستند یا به عبارت دیگر دوقطبیها با علامت ⟵ مشخص شده‌اند و نوك پیکان، قطب N را نشان می‌دهد.

وقتی که میدان محرك خارجی از بین می‌رود قطبهای دو قطبیهای آزاد و همنامی که در دو انتهای تیغه قرار دارند یکدیگر را می‌رانند. این عمل موجب می‌شود که نظم محورهای مغناطیسی بخشهای انتهایی دو سر تیغه به‌هم بخورد و در نتیجه قطبهای مغناطیسی درست در دو انتهای جسم نباشند.

جلوگیری از ضعیف‌شدن تدریجی آهن‌ربا

آهن‌ربا، با گذشت زمان، خودبه‌خود مقداری ازخاصیت‌مغناطیسی‌خود را از دست‌می‌دهد وضعیف می‌شود. علت این است که دو قطبیهای آزاد موجود در دو سر آهن‌ربا به تدریج تغییر جهت می‌دهند. برای جلوگیری از ضعیف شدن‌آهن‌رباهای تیغه‌ای، آنهارا به‌صورت جفت، مطابق شکل ۶-۱۹- نگاهداری می‌کنند. دو قطعه آهن نرم که در دو طرف آهن‌ربا قرار می‌گیرند بنا به‌خاصیت القا آهن‌ربا می‌شوند، به‌طوری‌که قطبهای‌مخالف‌مقابل هم واقع شوند.در نتیجه قطبهای آزادی که دربالا



شکل ۶-۱۹- طرز نگاهداری آهن رباهای تیغه‌ای.

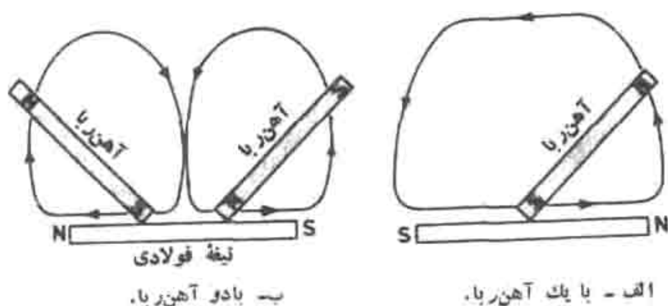
به آنها اشاره کردیم از بین می‌روند و مسئلهٔ انحراف دو قطبیها و ضعیف شدن آهن‌ربا خود به خود منتفی می‌شود.

پرسش ۶-۱۰- برای جلوگیری از ضعیف شدن یك آهن‌ربای نعلی شکل چه باید کرد؟

خودتان آزمایش کنید

۱) با مالیدن یك آهن‌ربای دائمی به‌یك تیغهٔ فولادی یا یك سوزن آهن‌ربا بسازید.

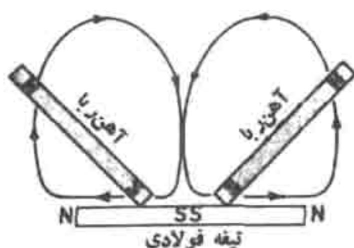
الف - یکی از قطبهای یك آهن‌ربا را مطابق شکل ۶-۲۰- الف، دریك جهت، سرتاسر یك تیغهٔ فولادی (یا یك سوزن) که آهن‌ربا نیست چند بار بکشید و پس از آن‌که تیغه‌آهن‌ربا شد قطبهایش را به وسیلهٔ عقربهٔ قطب‌نما مشخص کنید. در نظر داشته باشید که انتهای تیغه‌که عمل مالش به‌آن ختم می‌شود همواره مخالف قطبی است‌که روی تیغه مالیده می‌شود **(به شکل ۶-۲۰ مراجعه کنید)**.



الف ـ با یك آهن‌ربا.　　　ب ـ بادو آهن‌ربا.

شکل ۶ــ۲۰ــ تهیهٔ آهن‌ربا به‌وسیلهٔ مالش.

ب ـ دو آهن‌ربای دائمی یکسان انتخاب کنید و دو قطب ناهمنام آنها را مطابق شکل **۶ ــ ۲۰ ــ ب با هم از وسط یك تیغهٔ فولادی (یا یك سوزن) که‌آهن‌ربا نیست دردوسوی مخالف** روی آن چند باربکشید و قطبهای تیغه (یا سوزن) آهن‌ربا شده را به‌وسیلهٔ عقربهٔ قطب‌نما مشخص کنید.



شکل ۶-۲۱ــ آهن‌ربا با دو قطب همنام.

ج ـ **آزمایش را با دو آهن‌ربا تکرار کنید ولی این‌بار به جای مالیدن دو قطب ناهمنام دو آهن‌ربا، دو قطب** همنام آنها را با هم مطابق شکل **۶-۲۱ از وسط در دو سوی مخالف، روی یك تیغهٔ فولادی دیگر** (که آهن‌ربا نیست) بکشید و به‌وسیلهٔ عقربهٔ قطب‌نما تحقیق کنید که در دو سرتیغه دو قطب همنام به‌وجود می‌آید و با برادهٔ آهن میزان جذب براده را در وسط این تیغه بررسی کنید و آن را با تیغه‌های آهن‌ربایی که از دو آزمایش اول به‌دست آورده‌اید مقایسه نمایید و گزارش دهید.

۲) زاویهٔ‌میل را اندازه بگیرید ـ یك سوزن فولادی نسبتاً بلند یا یك تیغهٔ فولادی باریك را که آهن‌ربا نیست به وسیلهٔ نخ بدون تابی از مرکز ثقل آن طوری آویزان کنید که درست در راستای افقی بایستد و گره نخ را محکم کنید تا جابه‌جا نشود. بدون دست زدن به‌وضع نخ،سوزن یا تیغه را درون سیم پیچی قرار دهید وبه‌وسیلهٔ جریان برق‌آهن‌رباکنید. اگرسوزن یا تیغهٔ آهن‌ربا شده را دوباره با همان نخی که به آن بسته‌اید (و وضع آن را تغییر نداده‌اید)

آویزان‌کنید علاوه براین‌که در راستای شمال و جنوب مغناطیسی می‌ایستد قطب شمالیاب‌آن نیز پایین می‌رود و راستای سوزن (یا تیغه) با راستای افقی زاویه‌ای می‌سازدکه زاویهٔمیل‌است. چنان‌که‌دیدیدزاویهٔمیل مانند زاویهٔانحراف‌در نقاط مختلف‌زمین‌تغییرمی‌کند. این زاویه در سطح استوا صفر است و هرچه به قطب زمین نزدیکتر شویم اندازهٔ آن بزرگتر می‌شود. (به‌شکل ۶-۱۵ مراجعه کنید).

به‌وسیلهٔ نقاله این زاویه را اندازه بگیرید و با توجه به این که زمین در حکم یك آهن‌رباست وما درنیمکرهٔ شمالی هستیم علت پایین رفتن قطب شمالیاب آهن‌ربا راتوضیح‌دهید.

به‌این پرسشها پاسخ دهید

۱) یك آهن‌ربا و یك قطعه نخ در اختیار دارید. چگونه با این وسیله قطب N آهن‌ربا را معین می‌کنید؟

۲) چگونه می‌توانید به‌کمك یك عقربهٔ قطب‌نما،قطب N یك آهن‌ربا را مشخص‌کنید؟

۳) یك سر میلهٔ آهنی را که آهن‌ربا نیست نزدیك قطب S یك آهن‌ربا قرار می‌دهیم. توضیح دهید چگونه دراثر القا دراین میله خاصیت مغناطیسی پیدا می‌شود؟ چرا میله ازطرف سری که نزدیك قطب S آهن‌رباست جذب این قطب می‌گردد؟

۴) در نظر بگیرید که سه سوزن خیاطی، به‌ظاهر کاملا مشابه، در اختیار شما گذاشته شده است.یکی از آنها به‌طور معمولی آهن‌ربا شده است. دیگری طوری آهن‌ربا شده است‌که دو قطب همنام در وسط و دو قطب همنام دیگر در دو سر دارد و سومی آهن‌ربانیست. اگر فقط وسیلهٔ آویختن در اختیار داشته باشید چگونه آنها را از هم تشخیص می‌دهید؟

۵) می‌خواهیم یك سوزن خیاطی را طوری آهن‌ربا کنیم که نوك تیزآن قطب S بشود این کار را:

الف ـ چگونه باید بایك آهن‌ربای دائمی انجام دهیم،

ب ـ چگونه باید با جریان الکتریسیته انجام دهیم؟

ضمن توضیح هریك از دو روش، شکلی که طرز کار را نشان دهد نیز رسم کنید

۶) توضیح دهید:

الف ـ چگونه از برادهٔ آهن برای نمایش طیف مغناطیسی یك آهن‌ربای تیغه‌ای استفاده می‌شود؛

ب ـ اگر عقربهٔ مغناطیسی در یکی از نقاط این طیف گذارده شود در چه وضعی قرار

خواهد گرفت؛

ج ـ اگر در یك قسمت از طیف آهن‌ربا، تراکم خطوط میدان مغناطیسی زیاد باشد مفهوم آن چیست؟

۷) با رسم یك شکل، شش خط کامل میدان مغناطیسی را در اطراف یك آهن‌ربای تیغه‌ای نمایش دهید و جهت آنها رابا پیکان مشخص نمایید. طرز قرارگرفتن عقربهٔ مغناطیسی را در این میدان نمایش دهید.

۸) به‌نظر شما خطوط میدان مغناطیسی زمین در یك فضای خیلی کوچك (مثلا فضای اتاق) که در آنجا آهن‌ربا یامادهٔ مغناطیسی دیگری وجود ندارد درچه راستایی هستند ونسبت به هم چگونه‌اند؟

اگر در این فضا یك آهن‌ربا یا یك قطعه آهن وجود داشته باشد آیا در وضع خطوط میدان زمین آشفتگی حاصل خواهد شد؟ در صورتی که جواب مثبت است بارسم خطوط نیرو این آشفتگی را نشان دهید.

۹) آهن‌ربای القایی چیست؟ باآوردن یك مثال دربارهٔ آن به‌اختصار توضیح دهید.

۱۰) آزمایشی را شرح دهید که به‌وسیلهٔ آن اختلاف بین خواص مغناطیسی آهن نرم‌و فولاد آشکار شود و نتایجی را که از آن می‌گیرید بیان کنید. کدام یك از این دو فلز در موارد زیر به‌کار می‌رود؟

الف ـ هستهٔ آهن‌ربای الکتریکی، ب ـ عقربهٔ قطب‌نما، ج ـ آهن‌ربای زنگ‌اخبار.

۱۱) توضیح دهید چرا:

الف ـ یك عقربهٔ مغناطیسی که روی نوك سوزن قائمی سوار است و می‌تواند آزادانه در سطح افقی بچرخد همواره در راستای معینی قرار می‌گیرد،

ب ـ براده‌های آهن در سطح ورق مقوا که روی یك آهن‌ربای قوی قرار دارد به‌هنگام زدن ضربه‌های ملایم به‌مقوا، طیف مغناطیسی تشکیل می‌دهند؟

۱۲) توضیح دهید چگونه می‌توان خاصیت آهن‌ربایی یك تیغهٔ آهن‌ربا را از بین برد.

۱۳) زاویه‌های انحراف و میل را تعریف کنید و روش ساده‌ای را برای تعیین زاویهٔ میل شرح دهید.

۱۴) چرا نمی‌توان شدت خاصیت مغناطیسی یك آهن‌ربا رابی‌نهایت افزایش داد؟

۱۵) توضیح دهید چگونه می‌توان از میدان مغناطیسی زمین برای آهن ربا کردن یك میلهٔ آهنی خالص استفاده کرد؟ در چه صورت شدت آهن ربایی حاصل بیشترین مقدار ممکن را دارد؟ قطبهای میله را به‌طور وضوح مشخص کنید.

۱۶) وقتی‌که عقربهٔ قطب‌نما ازدرون آزمایشگاه به‌محلی خارج ازساختمان برده می‌شود

اغلب تغییر جزئی در راستایی که نشان می‌داد حاصل می‌شود. علت آن چیست؟

پاسخ به پرسشهای متن

۶-۱) می‌دانید، زمین در حکم آهن ربای بزرگی است که قطبهای آن نزدیك قطبهای جغرافیائی قرار دارد بنابراین مانند یك آهن‌ربا بــرروی آهن‌ربای دیگر اثر می‌کند و آن را تحت تأثیر میدان مغناطیسی خود قرار می‌دهد. بنابراین عاملی که آهن‌ربا را در راستای‌دیگر تقریبی شمال و جنوب قرار می‌دهد میدان مغناطیسی زمین است.

۶-۲) دو قطب همنام یکدیگر را می‌رانند و دو قطب ناهمنام یکدیگر را می‌ربایند.

۶-۳) به‌دو دلیل: یکی این که دو قطب آهن ربا به‌هم نزدیك می‌شوند و اثر مجموع آنها برروی یك قطعه آهن بیش از یك قطب تنهاست. دیگر این که در فــاصلهٔ میان دو قطب میدان شدید آهن‌ربایی پیدا می‌شود که خطوط میدان آن موازی است.

۶-۴) تشخیص قطبها با نزدیك کردن عقربهٔ مغناطیسی به‌آنها.

۶-۵) برای ایــن که تحت اثر میدان مغناطیسی زمین که در راستای شمــال و جنوب است خاصیت مغناطیسی پیدا نکند.

۶-۶) سنجاقها از جنس آهن تقریباً خالصند و به ســرعت خاصیت مغناطیسی خــود را از دست می‌دهند.

۶-۷) می‌توان قبلا سطح مقوا را به موم آغشته کرد و پس از تشکیل طیف، صفحه را گرم کرد تا موم ذوب شود و براده‌های آهن را نگاه دارد. می‌توان طیف را در تاریکخانه روی صفحهٔ کاغذ حساس عکاسی تشکیل داد و بــا تاباندن نور بر آن، عکس طیف را برصفحه انداخت و ظاهر کرد.

۶-۸) محل تلاقی محور فرضی دوران زمین با سطح کرهٔ زمین.

۶-۹) باید هر چند سال یك‌بار نقشه‌ها براساس اندازه‌گیری زاویه‌هــای جدید انحراف مغناطیسی چاپ شوند زیرا زاویهٔ انحراف مغناطیسی ثابت نیست وباگذشت زمان تغییرمی‌کند.

۶-۱۰) کافی است یك قطعه آهن خالص، چسبیده به‌دو سر آهن‌ربا قرار داده شود.



اثر مغناطیسی جریان برق

در اوایل قرن نوزدهم میلادی مقالاتی درباره این موضوع انتشار یافت که برق آسمان خاصیت مغناطیسی عقربه قطب‌نماها را تغییر می‌دهد وکاردها وقاشقها راآهن‌ربا می‌کند . عده‌ای از محققان ادعا کردند که دراثرتخلیه خازن الکتریکی درسوزنهای فولادی‌آنها را آهن‌ربا کرده‌اند . مقالات نامبرده شده ، درآن زمان این اندیشه را القا کرد که الکتریسیته و مغناطیس در پاره‌ای از جهات به هم ارتباط دارند . ولی این مشاهدات اتفاقی درآن زمان نتوانست زمینه مساعدی برای پی‌گیری عمیق وطرح‌ریزی دقیق آزمایشهایی باشد که راهنمای وضع تئوریها و قوانین ارتباط بین الکتریسیته و مغناطیس گردند . علاوه براین هیچ یك ازآن مقالات ، فلاسفه طبیعت شناس‌آن زمان را برنیانگیخت زیرا آنان معتقد بودند که همه پدیده‌های طبیعت فقط مظاهر یك نیروی واحد هستند.

اعتقادآنان به این که نیروهای طبیعت مبدأ واحد دارند آنانرا وادار می‌کرد که نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را نیز بر همین قیاس توجیه کنند . نخستین مدرك واقعی دال بر ارتباط میان الکتریسیته و مغناطیس ، آزمایشهای بسیار مهم و اساسی اُرستد دانشمند دانمارکی بود.

اثر مغناطیسی جریان برق

در سال ۱۸۱۹ میلادی، هانس کریستیان اُورستِد[۱]، که استاد فیزیك در دانشگاه‌کپنهاگ بود، این واقعیت‌راکشف‌کردکه اگر یك عقربهٔ‌مغناطیسی در مجاورت یك سیم حامل جریان برق قرار گیرد از راستای خود منحرف می‌شود.

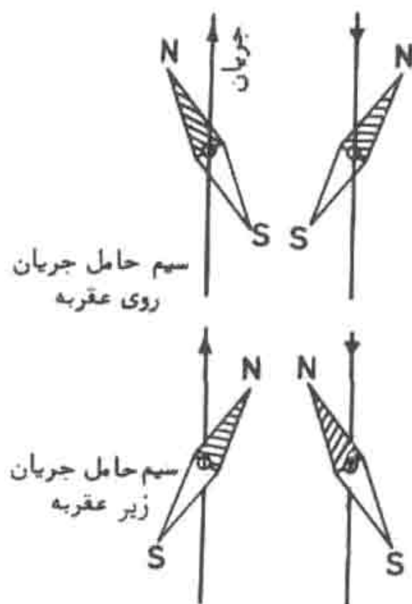
اورستد ضمن تحقیقات خود دریافت‌که سوی انحراف عقربه بستگی به جهت جریان و طرز قرار

۱- Hans Christian Oersted (م ۱۷۷۷-۱۸۵۱)

گرفتن سیم نسبت بـه عقربه دارد و شکل ۷ـ۱، انحراف عقربهٔ مغناطیسی را در چهار وضعیت‌نسبی سیم و عقربه نشان می‌دهد.

پس از این کشف، آمپر، ریاضی‌دان‌وفیزیک‌دان فرانسوی دستوری وضع کرد که بـه‌کمك آن سـوی انحراف عقربه‌را در مجاورت سیم حامل جریان‌می‌توان پیشگویی کرد:

دستور آمپرـ اگر ناظری در راستای سیم و در جهت جریان طوری قرارگیرد که روی او به طرف عقربه باشد قطب N عقربه به سمت دست چپ او منحرف می‌شود.



شکل ۷ـ۱ـ آزمایش اورستد

طیف مغناطیسی حاصل از جریانـی که از یك سیم راست می‌گذرد

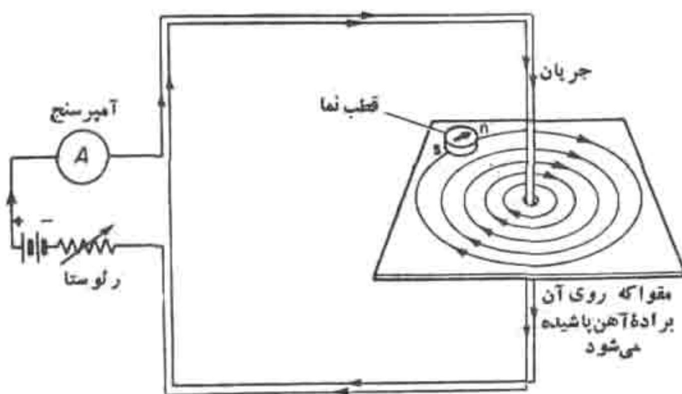
انحراف عقربهٔ مغناطیسی در مجاورت سیمی که جریان برق از آن می‌گذرد، نشان می‌دهد کـه در اطراف سیم میدان مغناطیسی وجود دارد. چون در هر میدان مغناطیسی شار مغناطیسی[1] جریان‌دارد انتظار می‌رود که در اطراف سیم حامل جریان برق هم خطوط میدان مغناطیسی که‌معرف شارمغناطیسی است وجود داشته باشد. آزمایش زیر این مطلب‌را تأیید می‌کند:

شکل ۷ـ۲، قاب مستطیل شکل بزرگـی را نشان می‌دهد که حداقل‌دارای بیست‌دور سیم مسی روپوشدار است‌و درسطح قائم‌نگاه داشته شده‌است.

یك طرف قاب، که در حکم سیم راست است، از میان یك صفحه مقوای افقی گذشته است وتوسط یك باتری شش ولتی جریانی در حدود سه آمپر از این قاب می‌گذرد. اگر هنگامی‌که ازقاب جـریان برق می‌گذرد، روی صفحهٔ مقوا، برادهٔ نرم آهـن پاشیده شود و به صفحهٔ مقوا ضربه‌هـای مـلایمی وارد آید براده‌های‌آهن‌دراطراف سیم روی‌دایره‌های هم‌مرکزی‌که مرکزهمهٔ آنها در وسط سیم است‌قرار می‌گیرند و طیف مغناطیسی جریان برق راتشکیل می‌دهند.

علت این‌که به جای یك‌رشته سیم از یك‌قاب ۲۰ دور استفاده می‌شود این است‌که اگر قاب‌فقط دارای یك‌دور سیم باشدباید از آن جریانی به شدت ۶۰ آمپر بگذرد تا اثر مغناطیسی آن معادل حالتی باشد که ازقاب ۲۰ دور، جریان سه آمپر می‌گذرد. تهیهٔ جریان ۶۰ آمپری مستلزم داشتن یك باتـری بزرگ با نیروی محرکهٔ زیاد است و علاوه برایـن سیم باید خیلی کلفت باشد تا جـریـان ۶۰ آمپر را

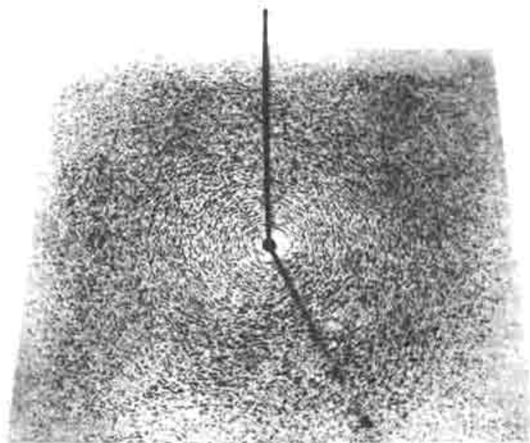
۱ـ به «میدان مغناطیسی» در بخش ۶ مراجعه شود.



شکل ۷-۲- خطوط میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان از یک سیم راست.

تحمل کند و نسوزد.

پرسش ۷-۱- چرا باید جریان شدید از قاب بگذرد؟



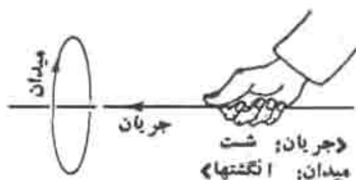
شکل ۷-۳- طیف حاصل از عبور جریان برق که توسط براده آهن بر روی یک صفحه مقوا تشکیل شده است.

شکل ۷-۳ یک نمونه از طیف واقعی را که با براده آهن بر روی یک صفحه مقوای افقی تشکیل شده است نشان می‌دهد.

سوی خطوط میدان

در آزمایش بالا سوی خطوط میدان را می‌-توان با یک عقربهٔ مغناطیسی کوچک که روی صفحهٔ مقوا گذارده می‌شود نشان داد: قطب n عقربه سوی خطوط میدان (یعنی جهت عبور شار مغناطیسی) را نشان می‌دهد. اگر جهت جریان در قاب عوض شود، عقربه می‌چرخد و در خلاف جهت وضع پیشین خود قرار می‌گیرد ولی شکل طیف عوض نمی‌شود با دستورهای سادهٔ زیر نیز می‌توان سوی خطوط میدان را مشخص کرد:

۱- اگر ناظری در راستای سیم و در جهت جریان قرار گیرد به طوری که سیم میان دو بازوی او واقع شود سوی خطوط میدان از دست راست به طرف دست چپ او خواهد بود.



شکل ۷-۴- دستور دست راست.
شست در جهت جریان
چهار انگشت در سوی خطوط میدان

۲ـ دستور دست راست ـ اگر بنا به فرض، سیمی که از آن جریان برق می‌گذرد در دست راست قرار گیرد به‌طوری‌که انگشت شست، در طول سیم، در جهت جریان واقع شود چهار انگشت دیگر، سوی خطوط میدان را نشان می‌دهد (شکل ۷ـ۴).

شدت میدان مغناطیسی در نقاط اطراف سیم راستـ شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از میدان، در واقع معرف تراکم خطوط نیروی میدان یا به عبارت دیگر معرف چگالی شار مغناطیسی[۱] در آن نقطه است و به B نمایش داده می‌شود. B را «اندوکسیون مغناطیسی» یا «القای مغناطیسی» هم می‌نامند.

اندازه اندوکسیون مغناطیسی (یا شدت میدان مغناطیسی) در هر نقطهٔ اطراف سیم راستی که از آن جریان الکتریسیته می‌گذرد به دو عامل بستگی دارد: یکی اندازهٔ شدت جریان (I) و دیگری فاصلهٔ نقطه از سیم (d). آزمایش نشان داده است که شدت میدان مغناطیسی با شدت جریان نسبت مستقیم و با فاصلهٔ نقطهٔ مورد نظر از سیم نسبت معکوس دارد، یعنی:

$$\text{شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه اطراف سیم راست} \propto \frac{\text{شدت جریان}}{\text{فاصلهٔ نقطه از سیم}}$$

یا:

$$B = k\frac{I}{d} \qquad (۱-۷)$$

k ضریبی است که بستگی به واحدهای I و d و B دارد. در دستگاه واحدهای بین‌المللی که I برحسب آمپر و d برحسب متر است، B برحسب تسلا[۲] (باعلامت اختصاری T) بیان می‌شود. دراین صورت $k = ۲ \times ۱۰^{-۷}$ است. بنابراین:

$$B_{(T)} = ۲ \times ۱۰^{-۷}\frac{I(A)}{d(m)} \qquad (۲-۷)$$

پرسش ۷ـ۲ـ شدت میدان مغناطیسی در فاصلهٔ یک‌متری سیم راستی که از آن جریان ۵ آمپر می‌گذرد چه اندازه است؟

میدان مغناطیسی حاصل از یک مدار دایره‌ایـ شکل ۷ـ۵، خطوط میدان مغناطیسی **حاصل از عبور جریان از یک مدار دایره‌ای شکل را که به صورت حلقه پیچیده شده است نشان می‌دهد. برای بررسی میدان حاصل از این جریان، می‌توان سیم‌پیچ حلقه‌ای شکلی را به‌کار برد که مثلا از ۲۰ دور (یا بیشتر) سیم روپوشدار تشکیل یافته و روی صفحهٔ مقوایی نصب گردیده است. (شکل ۷ـ۶). طیف مغناطیسی جریان را در این حالت هم می‌توان، مانند حالت پیش، به وسیلهٔ برادهٔ آهن تشکیل داد.**

سیم‌پیچ حلقه‌ای شکل را، به هنگام عبور جریان، می‌توان درحکم آهن‌ربای نازکی دانست که یک وجه آن قطب N و وجه دیگرش قطب S است **و قطبهای N و S آن، طبق دستوری که در بخش ۶ بیان شده است معین می‌گردد. دراین جا نکتهٔ قابل توجه این است که خطوط میدان در مرکز حلقه به**

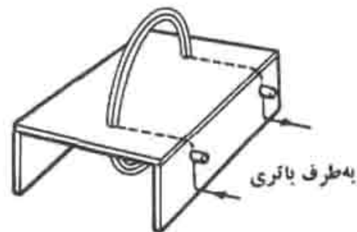
۱ـ چگالی شار مغناطیسی بنا به تعریف عبارت است از شار مغناطیسی که از واحد سطح (یک‌متر مربع) عمود برراستای خطوط نیروی میدان می‌گذرد.

۲ـ Tesla

شکل خط راست بوده و بر سطح حلقه عمودند.

شدت میدان مغناطیسی در مرکز مدار دایره‌ای- شدت میدان مغناطیسی در مرکز یك مدار دایره‌ای به شعاع r که از آن جریانی به شدت I می‌گذرد با شدت جریان نسبت مستقیم و باشعاع مدارنسبت معکوس دارد. بنابراین با $\frac{I}{r}$ متناسب است. یعنی:

$$B \propto \frac{I}{r}$$



شکل ۷-۶

یا

$$B = k\frac{I}{r}$$

ضریب k بستگی به واحدهای I و r و B دارد و در دستگاه واحدهای بین‌المللی برابر $2\pi \times 10^{-7}$ است. بنابراین:

$$B_{(T)} = 2\pi \times 10^{-7}\frac{I(A)}{r(m)} \qquad (7-3)$$

اگر مدار شامل N حلقه باشد شدت جریان N برابر و در نتیجه اندازه اندوکسیون مغناطیسی (یا شدت میدان مغناطیسی) N برابر می‌شود یعنی:

$$B = 2\pi \times 10^{-7}\frac{NI}{r} \qquad (7-4)$$

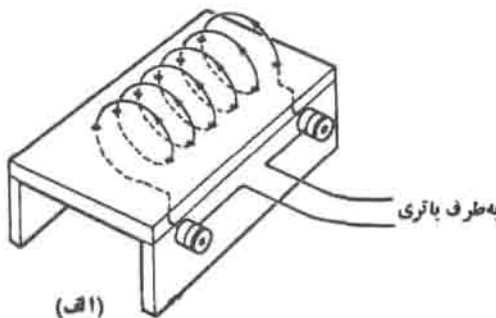
مثال - اندازه اندوکسیون مغناطیسی (یاشدت میدان مغناطیسی) در مرکز یك حلقه به قطر ۲۴/۰ سانتیمتر که از ۴۰ دور سیم روپوش دار تشکیل یافته است و ازآن جریانی به شدت ۲/۵ آمپر می‌گذرد برابر است با:

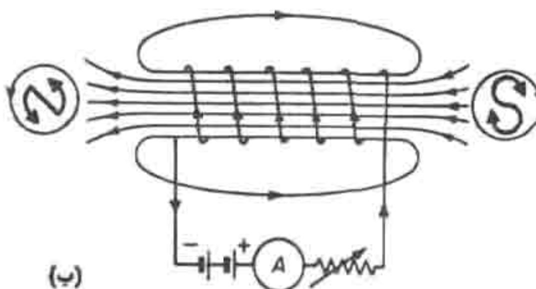
$$B = 2 \times 3/14 \times 10^{-7} \times \frac{40 \times 2/50}{0/120}$$

یا

$$B \simeq 5/23 \times 10^{-4}T$$

میدان مغناطیسی حاصل از یك سیم‌پیچ- در بخش ۶ دیدیم که یك سیم‌پیچ، هنگامی که از آن جریان الکتریسیته می‌گذرد، مانند یك آهن‌ربا دارای دو قطب N و S می‌شود و میدان مغناطیسی آن شباهت زیادی به‌میدان یك آهن‌ربای تیغه‌ای دارد(شکل ۷-۷-ب). بررسی میدان‌حاصل





شکل۷-۷-میدان مغناطیسی حاصل ازجریان الکتریسیته در سیم‌پیچ.

از یك سیم‌پیچ[1] الکتریکی‌را می‌توان به وسیلهٔ سیم‌پیچی که مطابق شکل (۷-۷-الف) روی یك صفحهٔ مقوای محکم تهیه شده است انجام داد

سیم‌پیچ با یك باتری و یك آمپرسنج و یك رئوستاویك‌کلید به‌طور متوالی بسته می‌شود وشدت جریان‌به‌کمك رئوستا طوری تنظیم‌می گردد که‌طیف مغناطیسی واضحی به وسیلهٔ برادهٔ آهن (که برروی صفحهٔ مقوا پاشیده می‌شود) به دست آید.

پرسش ۷-۳ - قطبهای N و S سیم‌پیچ را چگونه مشخص می کنید؟

اگرطول سیم پیچ نسبت به قطرآن خیلی زیاد باشد شدت میدان مغناطیسی دروسط سیم‌پیچ ازرابطه زیرحساب می‌شود :

$$\boxed{B_{(T)} = ۴\pi \times ۱۰^{-۷}\frac{N}{l_{(m)}}i_{(A)}} \quad ۵-۷$$

که درآن N تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ l طـول‌آن و i شدت جریان در سیم پیچ است . برای اینکه B بر حسب‌تسلا حساب شود باید l برحسب مترو i برحسب آمپرباشد .

خارج قسمت $\frac{N}{l}$ ، تعداد دورهای سیم پیچ در واحد طول سولنوئید است که اگرآن را به n نمایش دهیم رابطه (۷-۵) به صورت ساده زیر در می‌آید:

$$\boxed{B = ۱۲/۵۶ \times ۱۰^{-۷} ni} \quad (۷-۶)$$

مثال - شدت میدان مغناطیسی درمرکز یك سولنوئید به‌قطر ۱۰ سانتیمتر و به‌طول ۶۰ سانتیمتر وقتی که ازآن جریانی به‌شدت ۵آمپر می گذردبرابر ۴×۱۰^{-۴} تسلا است. تعداد حلقه‌های آن را حساب کنید.

- داریم $B = ۴\pi \times ۱۰^{-۷}\frac{N}{l}i$

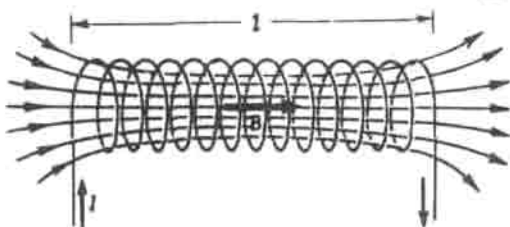
یا : $N = \frac{B.l}{۴\pi \times ۱۰^{-۷}i}$

به ازای $B = ۴\times ۱۰^{-۴}T$ و $l = ۰/۶۰m$ و $i = ۵A$ خواهیم داشت :

$$N = \frac{۴\times ۱۰^{-۴}\times ۰/۶۰}{۴\times ۳/۱۴\times ۱۰^{-۷}\times ۵} \approx ۳۸۱۹ \text{ دور}$$

توجه : قطر سیم پیچ (۱۰cm) از مشخصات آن است و در محاسبه N نقشی ندارد .

میدان مغناطیسی یکنواخت - اگر شدت میدان مغناطیسی در نقاط مختلف یك میدان ثابت و خطوط نیرو موازی وهم سو باشند چنین میدانی را «میدان یکنواخت» گویند . یکی از روشهای ایجاد میدان مغناطیسی تقریباً یکنواخت، استفاده از یك سیم پیچ یا «سولنوئید» طویل است (شکل ۷-۸). وقتی که از یك سولنوئید دراز جریان ثابتی می گذرد در حجم نسبتاً بزرگی در وسط آن ، میدان یکنواخت به وجود می‌آید .



شکل ۷-۸-میدان در حجم بزرگی از وسط یك سولنوئید دراز یکنواخت است

آهن‌ربای الکتریکی

در بخش ۱ دیدیم که هر گاه یك قطعه آهن

[1] ۱- سیم‌پیچ الکتریکی را در اصطلاح فیزیك سولنوئید (Solenoid) می گویند.

خالص درون سیم‌پیچی قرار داده شود، هنگام عبور جریان از سیم‌پیچ، قطعهٔ آهن، آهن‌ربا می‌شود ولی پس از قطع جریان خاصیت آهن‌ربایی آن به سرعت از بین می‌رود. از این خاصیت برای ساختن آهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود. آهن‌ربای الکتریکی چنان که گفته شد، معمولا در مواردی به‌کار می‌رود که احتیاج به آهن‌ربای موقتی و شدید باشد.

پرسش ۷-۴ - با سابقهٔ آشنایی که از کاربرد آهن‌ربای الکتریکی دارید چند اسباب را که در آنها از آهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود نام ببرید.

شکل ۷-۹- طرح نمونه‌های اولیهٔ آهن‌ربای الکتریکی را که در قرن نوزدهم میلادی ساخته شده‌اند و شکل ۷-۱۰- یك آهن‌ربای الکتریکی جدید را که به منظور بررسی اثر میدان مغناطیسی شدید بر روی ماده ساخته شده است نشان می‌دهد.

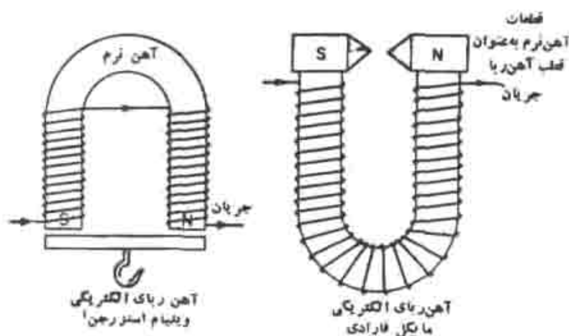
پرسش ۷-۵- شکل ۷-۹ نشان می‌دهد که سیم در دو بدنهٔ آهن‌ربا در خلاف جهت هم پیچیده شده است، علت را توضیح دهید. اگر سیمها در یك جهت پیچیده شوند چه می‌شود؟

در شکل ۷-۱۱ طرح ساده‌ای از یك آهن‌ربای الکتریکی نشان داده شده است که میدان میان دو قطب آن یکنواخت و شدید است. وجود هستهٔ آهنی درون سیم‌پیچ سبب می‌شود که شدت میدان مغناطیسی درون آن چند هزار برابر شدت میدان در سیم‌پیچ بدون هسته باشد.

اثر میدان مغناطیسی بر جریان الکتریسیته

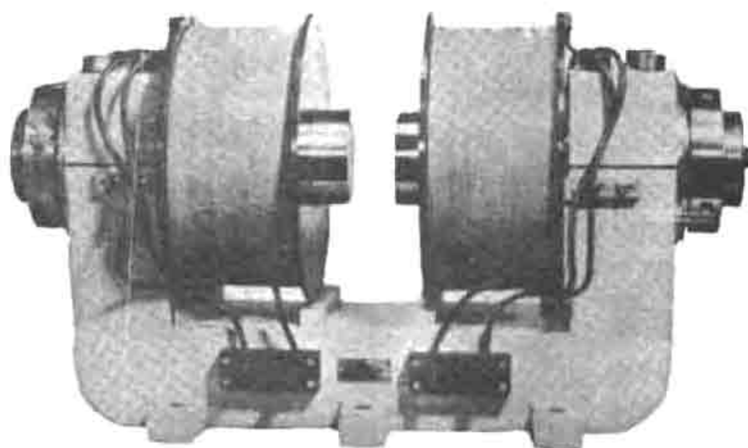
همان‌طور که جریان برق بر یك آهن‌ربا نیرو وارد می‌سازد می‌توان پیشگویی کرد که آهن‌ربا هم بنا به قانون عمل و عکس‌العمل نیرویی مساوی ولی در جهت مخالف بر سیم وارد می‌کند بنابراین اگر آهن‌ربا ثابت وسیمی که از آن جریان برق می‌گذرد آزاد باشد سیم در اثر این نیرو به حرکت در می‌آید.

آزمایشی که درشکل ۷-۱۲ مجسم شده است این مطلب را تأیید می‌نماید و نشان می‌دهد که جهت نیروی وارد از طرف آهن‌ربا بر سیم حامل جریان برق، چگونه بستگی به جهت میدان مغناطیسی و

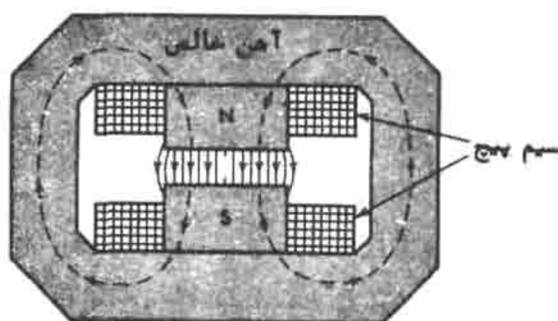


شکل ۷-۹- طرح آهن‌ربای الکتریکی قرن نوزدهم

۱- William Sturgeon



شکل ۷-۱۰- نمونه‌ای از یك آهن‌ربای الکتریکی جدید که در پژوهشهای علمی به‌کار می‌رود

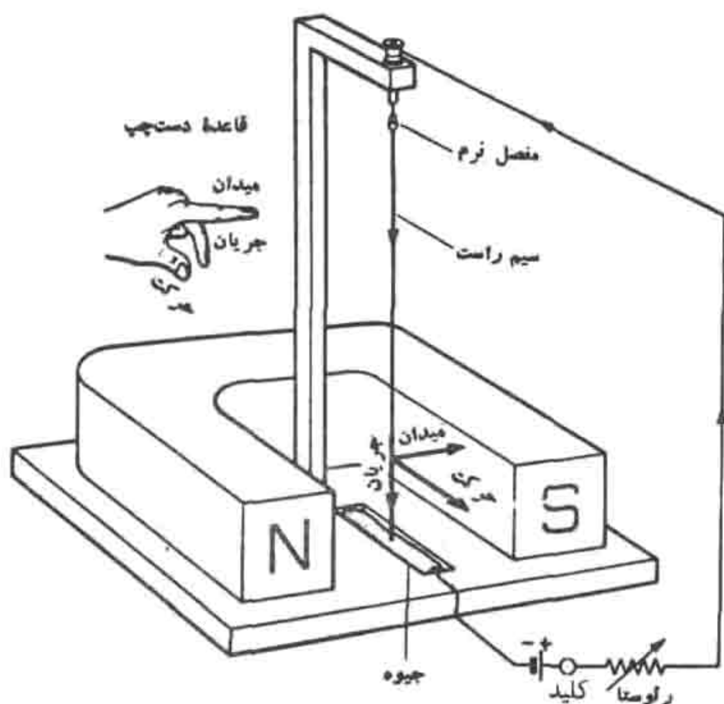


۷-۱۱- آهن ربای الکتریکی برای تولید میدان یکنواخت‌قوی

جهت جریان درسیم دارد.

این شکل، سیم مسی راستی را نشان می‌دهد که میان دوقطب یك آهن‌ربای نعلی شکل به‌قلابی آویزان است و انتهای پایینی آن بـا جیوه‌کـه در شیار گودتخته‌ای ریخته‌شده‌است تماس دارد. جریانی که باید از سیم بگذرد به وسیلهٔ یـك رئوستا روی کمترین مقداری‌که برای آزمایش لازم است تنظیم می‌شود زیرا شدت‌جریان زیاد، سیم را داغ‌می‌کند. هر گاه‌کلید k بسته شود، اگر برق از بالا به پایین در سیم جریان یابد و سوی خطوط میدان‌مغناطیسی مطابق شکل ازچپ به‌راست باشد‌سیم‌به جلو رانده می‌شود، در نتیجه، تماس سیم با جیوه قطع شده و جریان برق هم قطع می‌شود و سیم به جای خـود بر می گردد و بـاز بـا جیوه تماس پیدا می‌کند و دوباره درآن جریان بر قرار وعمل تکرار می‌شود.

اگر جهت جریان درسیم معکوس و ازپایین به بـالا بشود نیرو نیز برخلاف جهت اولیهٔ خود بر سیم وارد می‌شود و آن را به عقب می‌راند.



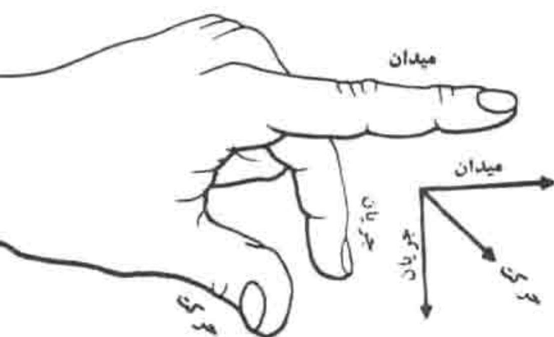
شکل ۷-۱۲- نیرویی‌که از طرف میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان وارد می‌شود.

پرسش ۷-۶- چگونه می‌توان جهت‌جریان را در سیم عوض‌کرد؟

درصورتی‌که باچرخاندن آهن‌ربا، جای‌قطبهای آن عوض شود به‌طوری‌که جهت خطوط میدان معکوس گردد جهت نیروی وارد برسیم نیزمعکوس می‌شود. در این آزمایش با اندکی توجه مشاهده می‌شود که راستاهای جریان و میدان مغناطیسی و نیروی وارد بر سیم دو به دو برهم عمودند.

جهت حرکت سیم، یا به عبارت دیگر سوی نیروی وارد بر سیم بستگی به‌جهت جریان وجهت خطوط میدان دارد و به‌کمك دستور دست چپ، که توسط پروفسور فلمینگ[1] دانشمند انگلیسی وضع شده است مشخص می گردد.

دستوردست چپ فلمینگ - انگشتان نشانه و میانی‌وشست دست‌چپ خود را طوری نگاه‌داریم



شکل ۷-۱۳- دستور دست چپ فلمینگ

1- John Ambrose Fleming (۱۸۴۹ - ۱۹۴۵ م)

که دو به دوبرهم عمود باشند. اگر انگشت نشانه را در جهت میدان و انگشت میانی را در جهت جریان بگیریم انگشت شست جهت حرکت (یعنی سوی نیرو) را نشان می‌دهد (شکل **۷–۱۳**).

اندازهٔ نیرویی که در میدان مغناطیسی بر الکترون متحرك وارد می‌شود

گفتیم ، هرگاه از یك سیم مسی که در یك میدان مغناطیسی آویزان است جریان الکتریسیته بگذرد ، سیم در اثر نیرویی که این میدان برآن وارد می‌کند به حرکت در می‌آید . از طرف دیگر می‌دانیم که جریان الکتریسیته در واقع عبور الکترونهاست. بنابراین می‌توانیم بگوییم نیرویی که درمیدان مغناطیسی برسیم حامل جریان الکتریسیته وارد می‌شود برآیند نیروهایی است که میدان بر الکترونهای متحرك وارد می‌کند. وقتی که یك‌دسته الکترون ازیك میدان مغناطیسی می‌گذرد این‌میدان برهریك ازالکترونهای‌متحرك نیرویی‌واردمی‌سازدکه سبب انحراف الکترون ازمسیر اولیهٔ خودمی‌شود.

درنظر بگیرید، یك الکترون که بار آن‌را به e نمایش می‌دهیم باسرعت v دریك میدان مغناطیسی به شدت B، عمود برراستای خطوط نیروی میدان، حرکت‌کند. نیرویی که سبب انحراف الکترون می‌شود متناسب با کمیتهای e و v وB وبنابراین متناسب با حاصل ضرب آنهاست. یعنی:

$$F \propto e.\ v.\ B$$

یا

$$F = K\ e\ v\ B$$

K ضریبی است که بستگی به واحدهای این کمیتها دارد. در دستگاه بین‌المللی واحدها، که F برحسب نیوتن (N) و e برحسب کولن (C) و v برحسب متربرثانیه $\left(\frac{m}{s}\right)$ و B برحسب تسلا(T) است K=۱ است وخواهیم داشت:

$$\boxed{\begin{array}{c} F = e\ .\ v\ .\ B \\ (N)\ (C)\left(\frac{m}{s}\right)(T) \end{array}} \qquad (۷–۷)$$

مثلا اگر یك الکترون با بارالکتریکی $e = 1/6 \times 10^{-19}C$ با سرعت

$$v = 3/0 \times 10^{7}\ \frac{m}{s}$$

دریك‌میدان‌مغناطیسی به‌شدت $B = 2/0 \times 10^{-4}T$ عمود بر راستای خطوط نیروی میدان حرکت کند نیرویی که ازطرف میدان برآن وارد می‌شود برابر است با:

$$F = e\ v\ B = (1/6 \times 10^{-19}C) \times \left(3/0 \times 10^{7}\ \frac{m}{s}\right) \times (2/0 \times 10^{-4}T)$$
$$= 9/6 \times 10^{-16}N$$

توجه داشته باشید که میدان $2/0 \times 10^{-4}$ تسلا درحدود ۱۰ برابر میدان مغناطیسی زمین‌است و نیرویی که دراین میدان برالکترون وارد می‌شود بسیارکوچك است ولی‌چون جرم الکترون نیزبسیار کم است همین نیروی بسیارکوچك سبب انحراف الکترون می‌شود.

در میدان مغناطیسی، نه تنها برالکترون متحرك نیرووارد‌می‌شود بلکه‌برهرنوع ذرهٔ باردار، چه دارای بارمنفی و چه دارای بارمثبت، به‌هنگام حرکت در میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود. بنابراین‌نیروی واردبرهرذرهٔ باردار، بابارالکتریکی q ، وقتی که باسرعت v دریك میدان مغناطیسیB، در راستای عمود برخطوط نیروی میدان حرکت می‌کند برابر است با: $F = q.v.B$

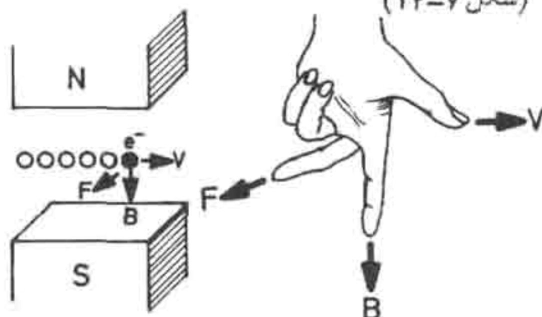
درصورتی‌که راستای حرکت ذرهٔ باردارعمود بر راستای خطوط نیروی میدان نباشد و این دو راستا با هم زاویهٔ α بسازند اندازهٔ نیرو از رابطهٔ زیرحساب می‌شود:

$$F = q \cdot v \cdot B \sin\alpha \qquad (۷-۸)$$

پرسش ۷-۷- اگرراستای حرکت ذرهٔ باردار موازی با راستای خطوط نیروی میدان باشد اندازهٔ این نیرو چه خواهد بود؟

تعیین جهت نیروی F

راستای نیروی F همواره برراستاهای میدان B و حرکت ذره (راستای v) عمود است. جهت نیروی F را که درمیدان مغناطیسی بریک الکترون متحرک وارد می‌شود می‌توانیم از دستورسه انگشت دست چپ مشخص‌کنیم. برای این منظورکافی است انگشت‌شست دست‌چپ رادرراستای حرکت‌الکترون و انگشت نشانه را در راستای میدان مغناطیسی B بگیریم. انگشت‌میانی‌که عمود برراستای دوانگشت دیگر گرفته می‌شود جهت نیروی F را،یا به‌عبارت دیگر، جهت انحراف الکترون را نشان می‌دهد (شکل ۷-۱۴)



شکل ۷-۱۴- جهت نیرویی‌که دریک میدان‌مغناطیسی برالکترون (که بارمنفی‌دارد) وارد می‌شود با دستور سه انگشت دست‌چپ مشخص می‌گردد.

درصورتی‌که ذرهٔ متحرک‌دارای بارمثبت‌باشد و درهمان جهت حرکت الکترون درمیدانB حرکت کند درخلاف جهت انحراف الکترون منحرف می‌شود زیرا جهت نیروی F معکوس می‌شود.

در این حالت برای تعیین جهت این نیرو، می‌توانیم ازدستور سه انگشت دست راست استفاده کنیم بدین‌ترتیب که انگشت شست دست راست را درجهت حرکت ذرهٔ باردارمثبت و انگشت نشانه را درجهت میدان بگیریم. انگشت میانی که عمود بر راستای دوانگشت دیگر گرفته می‌شود جهت نیروی F یعنی جهت انحراف ذره را نشان می‌دهد.

پرسش ۷-۸- اگربخواهیدازسه انگشت‌دست چپ برای تعیین جهت نیروی وارد بر ذرهٔ باردار مثبت استفاده کنید کدام انگشتان این دست را در جهت حرکت ذره ومیدان می‌گیرید؟

براساس نیروی وارد بر بارالکتریکی در میدان مغناطیسی، می‌توان نیرویی را که از طرف میدان مغناطیسی بر یک سیم مسی حامل جریان وارد و سبب حرکت آن می‌شود حساب کرد. در نظر بگیرید سیم‌مسی به‌طول l درمیدان مغناطیسی یکنواخت B، عمود برراستای خطوط نیروآویزان است و ازآن جریانی به شدت I می‌گذرد. چون جریان الکتریسیته در واقع عبور الکترونهاست اگر هر الکترون طول l را در مدت t ثانیه طی‌کند سرعت حرکت‌الکترون درسیم برابراست با $v = \frac{l}{t}$ و اگردرمدت t ثانیه n الکترون که بارالکتریکی هر یک e است از سیم بگذرد مقدار الکتریسیته‌ای که درمدت t ثانیه ازسیم می‌گذرد $q = ne$ خواهد بود با توجه به رابطهٔ (۶-۱) نیروی وارد به دستهٔ الکترونهای جاری درسیم برابر است با

$$F = ne.v.B$$

یا:

$$F = q.\frac{1}{t}.B$$

q، چنان‌که گفتیم، مقدار الکتریسیته‌ای است که در زمان t ازسیم‌می گذرد وچون $q = it$ است،

بنابراین:

$$F = it.\frac{1}{t}.B$$

یا (۷–۹)

$$\boxed{F = i\ l\ B}$$

F در واقع برآیند نیروهایی است‌که برهریك از الکترونها وارد می‌شود وهمین نیروست که سیم را به حرکت در می‌آورد. جهت این نیرو با دستور سه انگشت دست چپ مشخص می‌شود. بـه خاطر داشته باشیدکه جهت حرکت الکترونها خلاف‌جهت قراردادی جریان الکتریسیته است. برای این‌که F برحسب نیوتن حساب شود باید i برحسب آمپر و l برحسب متر و B برحسب تسلا باشد.

مثلا انـدازهٔ نیروی وارد برسیمی بـه طول ۰/۵۰ مترکه از آن جریانی بـه شدت ۲۰ آمپر می گذرد و درمیدان مغناطیسی یکنواختی به شدت ۰/۳۰ تسلا، عمود بر خطوط نیرو، آویزان است برابر است با:

$$F = (۲۰\text{A}) \times (۰/۵۰\text{m}) \times (۰/۳۰\text{T}) = ۳/۰\text{N}$$

پرسش ۷–۹ـ اگرسیم‌براستای‌خطوط‌نیروی میدان عمود نباشد نیروی F ازچه رابطه‌ای حساب می‌شود واگرسیم‌موازی باراستای خطوط نیروباشد نیروی وارد برآن چه اندازه است؟

وسایل اندازه‌گیری جریان

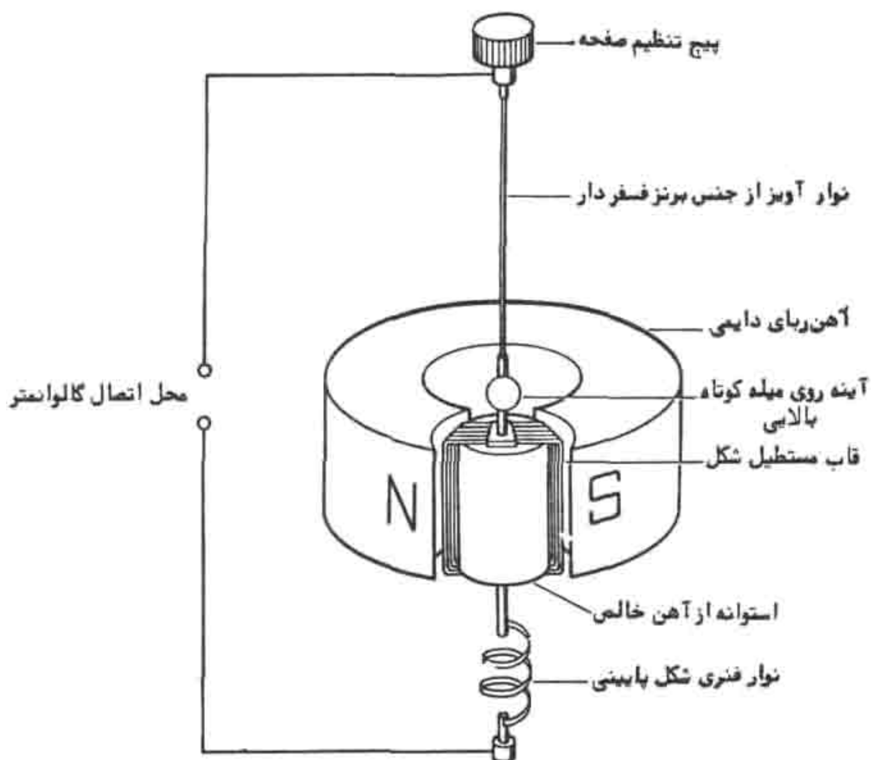
اسبابهای اندازه‌گیری جریان برق (گالوانمتر، آمپرمتر ، ولتمتر) را می‌تـوان هـم بر اساس نیروی وارد ازطرف جریان برآهن‌ربا و هم بر اساس‌نیروی وارد از طرف‌آهن‌ربا بر جریان ساخت.

اسبابهای نوع اول‌که دارای عقربه مغناطیسی متحرك (واقع در یك سیم پیچ ثابت) هستند در طول قرن نوزدهم میلادی مورد استفاده بوده‌اند و تغییرات زیادی در ساختمانشان به منظور حساستر کـردن‌آنها صورت‌گرفته است.

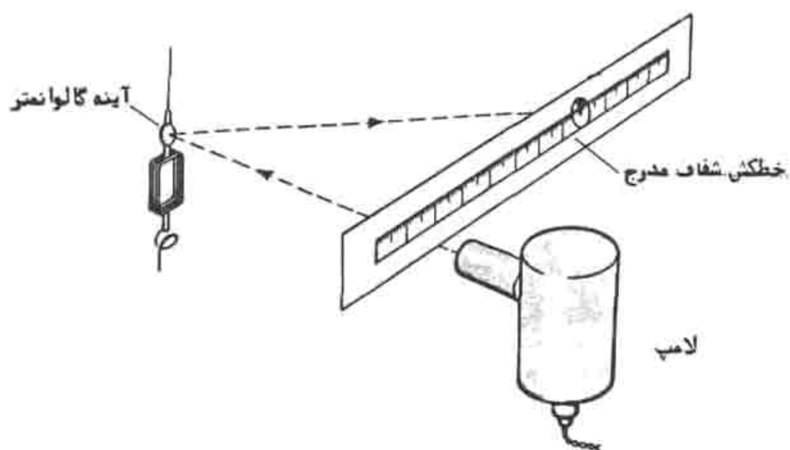
ولی این نـوع وسایل دارای معایبی هستندکه دقت‌آنها را محدود می کند. زیرا علاوه بـر آن‌کـه ممکن است تحت تأثیر میدانهای مغناطیسی حاصل از سیمها یا کابلهای حامل جریان بـرق و یـا میدانهای مغناطیسی حاصل از ابـزار الکتریکـی دیگر قـرار گیرند، همواره عقربه متحرك‌آنها تحت تأثیر میدان مغناطیسی زمین در راستای مشخصی مـی‌ایستد و این کیفیت در پاره‌ای ازموارد کار اندازه‌گیری را دشوار می‌سازد. بـه سبب همین معایب، این نـوع وسایل اندازه‌گیری به تـدریج کنارگـذارده شده و وسایل اندازه‌گیری نوع دوم‌که درآنها آهن‌ربا ثابت وسیم - پیچ حـامل جـریان متحـرك است وارد عمل شده است.

گالوانمتر با قاب متحرك

شکل ۷–۱۵ طرح ساده‌ای از یك‌گالوانمتر با قاب متحرك را نشان می‌دهد. قاب، سیم‌پیچ مستطیل شکلی است‌که روی استوانه‌ای ازآهن خالص‌پیچیده شده و در میان دو قطب یك‌آهن ربا در فضایـی به شکل استوانه‌آویزان است دو سر پیچ در بالا و پایین استوانه‌آهنی به دومیله‌کوتاه و باریك ومحکم متصل است و روی میله بـالایی آینه‌کـوچکی نصب شده



شکل ۷ ــ ۱۵ ــ گالوانمتر با قاب متحرک (طرح کلی و ساده)



شکل ۷ ــ ۱۶ ــ وسیله اپتیکی برای خواندن انحراف گالوانمتر

است و این آینه دسته پرتوهای باریك نوری را که از یك لامپ واقع درجلو آینه بر آن تابیده می‌شود روی یك خط کش شفاف افقی که برحسب میلیمتر مدرج و آن هم جلو آینه است منعکس می‌سازد . (شکل ۷ـ ۱۶) . با این مکانیسم علامت نورانی روی خط کش (حاصل از باز تابش نور لامپ از روی آینه) به ازای انحراف کوچك سیم پیچ تغییر مکان بزرگی را نشان می‌دهد ، زیرا چنانکه می‌دانید اگر آینه به اندازه زاویه α بچرخد پرتو باز تابیده از روی آن به اندازه 2α می‌چرخد.

قاب به وسیله نوار نازکی ازجنس برنز فسفردار آویخته شده است و این نوار برای دو منظور به کار می‌رود : یکی این که جریان الکتریسیته را هدایت می‌کند ، دیگر آنکه با ایجاد یك نیروی مقاوم ، چرخش قاب را متناسب با شدت جریان می‌سازد .

خروج جریان ازسیم پیچ، توسط نوار پائینی که آنهم از برنز فسفردار یا نقره است صورت می - گیرد.

نوار آویز بالایی از طرف بالا وصل به یك پیچ است که با پیچانیدن آن قاب ودر نتیجه آینه می‌چرخد وبه این وسیله می‌توان علامت نوری روی خط کش را بر صفر آن (معمولا وسط خط کش) منطبق کرد .

حساسیت گالوانمتر

حساسیت این نوع گالوانمتر بنا به تعریف عبارتست از میزان انحراف علامت نوری بر حسب میلیمتر روی خط کش واقع در فاصله یك متری آینه وقتی که ازگالوانمتر جریانی به شدت یك میکروآمپر (10^{-6} آمپر) بگذرد .

برای به دست آوردن حساسیت زیاد باید:

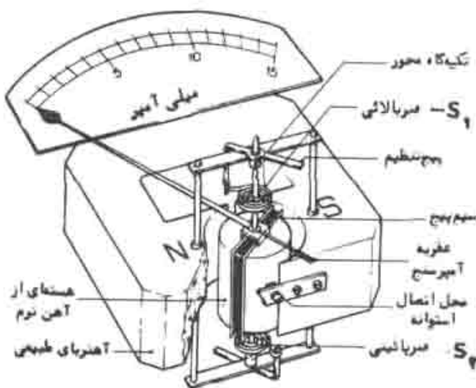
۱ـ تعداد دورهای سیم‌پیچ را زیاد کرد.

۲ـ نوارآویز را بسیار باریك ونرم وکم تاب انتخاب نمود .

۳ـ آهن‌ربای گالوانمتر را ازموادی ساخت که شدت آهن‌ربایی آنها به قدر کفایت قوی باشد و همواره ثابت بماند .

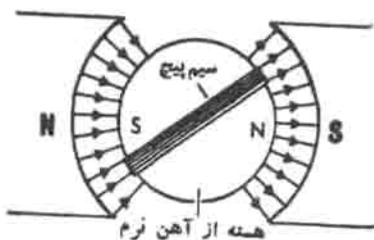
آمپرسنج و ولت‌سنج با قاب متحرك

می‌دانید آمپرسنجها و ولت سنجها برای اندازه‌



طرح یک آمپرسنج با قاب متحرک

الف ـ طرح ساده‌ای از آمپرسنج با قاب متحرك.



ب ـ میدان شعاعی میان دو قطب آهن‌ربا.

شکل ۷-۱۷

گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل به کارمی‌روند. اساس ساختمان این دو اسباب یکی است و تنها

تفاوت‌آنها در این است‌که مقاومت سیم‌پیچ آمپر-سنج خیلی کـم و مقاومت سیم‌پیچ ولت‌سنج خیلی زیاد است. صفحـهٔ آمپرسنج برحسب آمپر وصفحهٔ ولت‌سنج برحسب ولت مدرج است.

شکل ۷-۱۷- الف طرح ساده‌ای ازآمپرسنج با قاب متحرك را نشان می‌دهد که سیم‌پیچ **آن** به صورت قابی مستطیل شکل در فضای استوانـه‌ای شکل میان دوقطب یك آهن‌ربا حول محور قـائم خود آزادانه می‌تواند بچرخد. درفضای بین‌دوقطب آهن‌ربا و در وسط قاب، استوانـه‌ای از جنس آهن خالص قراردارد به‌طوری‌که قاب می‌تواند به‌آزادی در فضای بین استوانه و قطبهای آهن‌ربـا ، بدون آن‌که با آنها تماس داشته باشد بچرخد. استوانـهٔ آهنی به این منظور قرارداده شده است‌که درفضای میان دوقطب آهن‌ربـا «میدان مغناطیسی شعاعی» ایجاد شود (شکل ۷-۱۷- ب) و در نتیجه راستای خطوط این میدان در هرنقطه بربدنهٔ استوانهٔ آهنی عمود باشد.

این وضعیت، اثر چرخش قاب را زیادمی‌کند زیرا، ایجاد قطبهای مخالف دراستوانهٔ آهنی (بـه علت خاصیت القای مغناطیسی) سبب افزایش شدت میدان می‌شود. علاوه براین قاب در هر وضعی‌که قـرارگیرد، موازی بـا خطوط میدان است (شکل ۷-۱۷- ب).

دوفنر S_1 و S_2 دربالا و پایین قاب به‌محور آن متصل شده‌اندکه در مقابل چرخش قاب نیروی مقاومی‌ایجاد می‌کنند. علاوه براین جریان به‌وسیلهٔ یکی از این فنرها به سیم‌پیچ وارد و به وسیلهٔ فنر دیگر از آن خارج می‌شود.

وقتی که جریان از سیم‌پیچ قاب می‌گـذرد، قاب می‌چرخد و فنرها درمقابل چرخش‌آن مقاومت می‌کنند. بدیهی است زاویهٔ چرخش قاب متناسب‌با شدت جریانی‌است‌که ازسیم پیچ می‌گذرد. عقربه‌ای به قاب متصل است که روی صفحهٔ مدرجی حرکت می‌کند و صفحه به درجات مساوی درجه‌بندی شده است. هرچه شدت جریان بیشترباشد انحراف‌عقربه بیشتر است.

چون مقاومت الکتریکی سیم‌پیچ ثابت است شدت جریانی‌که ازآن می‌گذرد متناسب باختلاف پتانسیل دو سرآن است (قـانون اهم). در نتیجه، انحراف قاب متناسب با اختلاف پتانسیل دو سرآن نیز خواهد بود . بنابراین بـرای ساختن ولت‌سنج کافی است سیم‌پیچ قاب را با سیم نازکی‌که مقاومت آن زیاد است چندین دور بپیچند.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) آزمایشی را شرح دهیدکه اثرمغناطیسی جریان برق را به هنگـام عبور از یك سیم راست آشکار سازد. شکلی رسم کنیدکه وضع خطوط میدان حاصل از جریان این را نشان دهد.

۲) با رسم شکل، وضع خطوط میدان مغناطیسی حاصل از عبور جریان را در حالتهای

زیر نشان دهید وجهت جریان وسوی خطوط میدان را روی شکل مشخص کنید.

الف ـ وقتی که جریان از یك سیم‌پیچ دایره‌ای شکل مسطح می گذرد.

ب ـ وقتی که جریان از یك سولنوئید می گذرد.

۳) تعریف شدت میدان مغناطیسی (یا اندوکسیون مغناطیسی) چیست ؟

۴)ـ چگونه می‌توان میدان مغناطیسی یکنواخت ایجادکرد؟ برای تولید میدان مغناطیسی یکنواخت و قوی چه بایدکرد؟

۵) شکل واضح وساده‌ای از یك آهن‌ربای الکتریکی رسم کنید و دومورد از موارد کاربرد آن را نام ببرید . بارسم یك مدار الکتریکی توضیح دهیدکه چگونه می‌توانید با تغییردادن شدت جریان رابطهٔ بین شدت جریان و شدت آهن‌ربایی چنین آهن‌ربایی را تحقیق کنید؟

۶) اگر شدت جریانی که از یك آهن‌ربای الکتریکی می گذرد از صفر شروع شود و به **تدریج افزایش یابد کدام یك از نمودارهــای زیــر معرف افزایش شدت آهن‌ربایی‌آن خواهد** بود؟ دربارهٔ جواب خود توضیح دهید.

(۱)



(۲)



(۳)



(۴)



۷) توضیح دهید چگونه از جریــان برق، هم برای مغناطیس‌کردن و هم برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی استفاده می‌شود.

۸) قانونی‌را بیان‌کنیدکه به‌کمک‌آن بتوان ازروی جهت جریان، جهت میدان‌مغناطیسی حاصل از جریان را مشخص‌کرد.

۹) دستوری را بیان‌کنیدکه به‌کمک آن بتوان سوی نیروی وارد بر یك سیم را کـه در یك میدان مغناطیسی عمود بر خطوط میدان قرار گرفته و از آن جریـان برق می گـذرد، مشخص‌کرد.

۱۰) آیا بربارالکتریکی q که دریك میدان مغناطیسی ساکن است نیرو وارد می‌شود؟ در صورتی‌که جواب منفی است چه شرطی باید باشد تا برآن نیرو وارد شود؟

۱۱) جهت نیروی F وارد بریك الکترون را که دریك میدان مغناطیسی عمود بر خطوط نیروی میدان حرکت می‌کند با دستور سه انگشت دست چپ چگونه معین می‌کنند؟

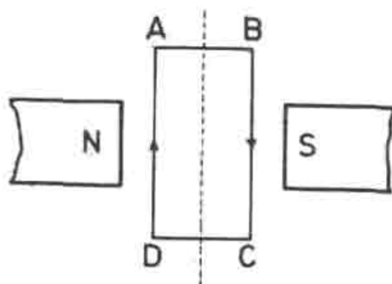
۱۲) اگر راستای حرکت یك ذره باردار عمود برراستای خطوط نیروی میدان مغناطیسی نباشد و این دو راستا باهم زاویه α بسازند اندازه نیـروی وارد برذره باردار از چه رابطـه‌ای حساب می‌شود؟

۱۳) در نظر بگیریدکه دو رشته سیم دراز وباریك به‌طور موازی به‌فاصله r از یك دیگر قرار دارند و از یکی جریان i_1 و از دیگری جریان i_2 در یك جهت می گـذرد . با استفاده از دو رابطه $B = 2 \times 10^{-7}\frac{i}{r}$ و $F = Bil$ نشان دهید نیرویی کـه هر یك از این سیمهای حامل جریان بر روی یك متر از طول سیم دیگر وارد می‌سازد برابر است با :

$$\frac{F}{L} = 2 \times 10^{-7}\frac{i_1 i_2}{r} \qquad (10\text{-}7)$$

و از روی این رابطه تعریف‌آمپر واحد شدت جریان راکه در بخش ۳ دیدید نتیجه بگیرید .

۱۴) شکل ۷-۱۸ سیم پیچی را نشان می‌دهد که به صورت قاب مستطیل شکل ABCD پیچیده شده است و میان دو قطب آهن‌ربای NS قراردارد وحول محوری‌که به‌صورت خطچین نمایش داده شده است می‌تواند بچرخد هر گاه از این سیم پیچ درجهتی که درشکل نمایش داده شده است جریان برق بگذرد قاب درچه جهتی خواهد چرخید؟



شکل ۷-۱۸

۱۵) اساس ساختمان یك آمپرسنج با قاب متحرك را شرح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) شدت میدان مغناطیسی درنقطه‌ای به‌فاصلهٔ ۰/۵۰ متر از سیم راستی که ازآن‌جریان ۴آمپر می‌گذرد چه‌اندازه است ؟

۲) شدت جریان در یك سیم راست چند آمپرباید باشد تا شدت میدان مغناطیسی‌حاصل ازآن درنقطه‌ای به‌فاصلهٔ ۱۰ سانتیمتر از سیم برابر ۵×۱۰^{-۶} تسلا بشود ؟

۳) درچه فاصله‌ای از یك سیم راست‌که ازآن جریانی به‌شدت ۱۰آمپر می‌گذرد شدت میدان مغناطیسی حاصل‌ازاین جریان‌برابرشدت میدان مغناطیسی زمین (یعنی‌تقریباً ۵×۱۰^{-۵} تسلا) خواهد بود ؟

۴) شدت میدان مغناطیسی را درمرکز یك مدار دایره‌ای به‌شعاع ۱۶ سانتیمترکه ازآن جریانی به شدت ۲/۰ آمپرمی‌گذرد حساب‌کنید . اگرشعاع مـدار دوبرابـر شود ولی شدت جریان ثابت بماند شدت میدان درمرکز مدار به‌چه نسبت تغییر خواهدکرد ؟

۵) چه جریانی باید از یك مدار دایره‌ای به‌شعاع ۱ متر بگذرد تا درمرکزآن میدانی به‌شدت ۴×۱۰^{-۷} تسلا ایجاد شود ؟

۶) دورشته سیم راست و موازی به‌فاصلهٔ یك متر از یکدیگر قـرار داده شده‌اند و از هریك از آنها جریانی به شدت ۲ آمپر در یك جهت می‌گذرد . بـرآیند میدانهای مغناطیسی حاصل از این دو جریان‌را در نقاط زیرحساب‌کنید :

الف ــ در فاصلهٔ وسط دوسیم ؛

ب ــ در $\frac{۱}{۴}$ فاصلهٔ بین دو سیم .

۷) اگر درمسئلهٔ ۶ جهت جریان در دوسیم خلاف جهت یکدیگرباشد برآیند میدانها در دونقطهٔ نامبرده چه‌اندازه است ؟

۸) یك رشته سیم مسی روپوش‌دار به طول ۲۸ متر را به‌صورت یك سیم‌پیچ مسطح در می‌آوریم به‌طوری که قطرآن ۸ سانتیمتر باشد. اگرجریانی به‌شدت ۴/۵ آمپر ازآن بگذرانیم شدت میدان در مرکز این سیم‌پیچ چند تسلا خواهد بود؟

جواب: تقریباً $۷/۹ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{T}$

۹) ازیك سولنوئیدکه ۴۵۰ حلقه دارد جریانی به شدت ۳/۷ آمپرعبور می‌دهیم. اگرطول سولنوئید۴۵ سانتیمتر باشد شدت میدان را در وسط سولنوئید حساب کنید.

۱۰) از یك سولنوئید به‌طول ۷۵ سانتیمتر هرگاه جریانی به‌شدت ۸ آمپربگذرد و دروسط آن میدانی به شدت $۲/۰ \times ۱۰^{-۲}$ تسلاتولید می‌شود. این سولنوئید دارای چند حلقه است؟

جواب: ۱۴۹۲ حلقه

۱۱) یك دسته الکترون با سرعت $۲/۰ \times ۱۰^{۸}$ متر برثانیه درمیدان مغناطیسی یکنواختی عمود برخطوط نیروی میدان حرکت می‌کند. اگرشدت میدان مغناطیسی $۴/۰ \times ۱۰^{-۲}$ تسلا باشد چه نیرویی ازطرف این میدان برهر الکترون وارد می‌شود؟

۱۲) از سیمی به‌طول ۱/۰ متر جریانی به شدت۱۲ آمپر می گذرد. این سیم دریك میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰/۲۰ تسلا، عمود برخطوط نیروی میدان قراردارد. اندازه و راستای نیرویی را که از طرف میدان بر این سیم وارد می‌شود معین کنید.

۱۳) سیمی به طول ۲۵ سانتیمتر دریك میدان مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰/۱۰ تسلا عمودبرخطوط نیروی میدان قرارداده شده است.هنگامی‌که جریانی به شدت i آمپر از این سیم می گذرد نیرویی برابر ۰/۵۰ نیوتن برآن وارد می‌شود. اندازهٔ i را حساب کنید.

۱۴) سیمی به طول ۱/۰ مترو به وزن ۰/۴۰ نیوتن به‌طور افقی دریك میدان مغناطیسی یکنواخت عمود برخطوط نیروی این میدان قرارگرفته است. وقتی‌که از سیم جریانی به شدت ۱۵ آمپر می گذرد نیرویی ازطرف میدان از پایین به‌بالابرسیم وارد می‌شودکه درست برابروزن آن است. شدت میدان مغناطیسی چه اندازه است. با رسم یك شکل ساده و با انتخاب جهت جریان درسیم جهت میدان مغناطیسی را مشخص کنید.

پاسخ به پرسشهای متن

۷-۱) زیرا میدان مغناطیسی‌حاصل ازجریان ضعیف قادر نیست‌که به‌وسیلهٔ برادهٔآهن‌طیف مغناطیسی تشکیل دهد.

۷-۲) داریم $i = ۵A$ و $d = ۱m$ **بنابراین**

$$B = ۲ \times ۱۰^{-۷}\frac{i}{d} = ۲ \times ۱۰^{-۷} \times \frac{۵}{۱} = ۱۰^{-۶}T$$

۷-۳) طرزتشخیص قطبهای سیم‌پیچ در بخش ۶ (بخش آهن‌ربا) تحت عنوان «آهن‌ربا کردن به‌وسیلهٔ جریان برق» بیان شده است .

۷-۴) زنگ الکتریکی (زنگ اخبار)، گوشی‌تلفن، بلندگو، جراثقالهایی‌که برای انتقال قطعه‌های بزرگ آهن به‌کار می‌روند و... (به‌کاربرد مواد مغناطیسی سخت و نرم در بخش ۶

مراجعه شود) .

۷–۵) برای این‌که دوقطب مخالف N و S مجاور هم قرار بگیرند و میدان وسط دو قطب شدید بشود . در صورتی که جهت سیم‌پیچها یکی باشد دو قطب همنام مقابل یکدیگر تشکیل می‌شود و در نتیجه خطوط میدان از یکدیگر دور می‌شوند و خاصیت مغناطیسی ظاهر نمی‌شود .

۷–۶) کافی است جای اتصال سیمها به دوقطب باتری عوض شود .

۷–۷) صفر زیرا α، زاویهٔ بین راستای حرکت ذرهٔ باردار و راستای خطوط نیرو صفر است. درنتیجه $sin\alpha = 0$ و $F = 0$

۷–۸) انگشت میانی‌را درجهت حرکت ذرهٔ باردار مثبت وانگشت نشانه را درجهت‌میدان می گیریم دراین صورت انگشت شست جهت انحراف ذره را نشان می‌دهد.

۷–۹) از رابطهٔ $F = ILBsin\alpha$ (α زاویهٔ بین سیم حامل جریان و خطوط نیروی میدان است).

اگر سیم موازی با راستای خطوط نیروی میــدان باشد $\alpha = 0$ است در نتیجه $F = 0$ خواهد بود.



تولید جریان برق به‌وسیلهٔ مغناطیس
یا
القای الکترومانیتیکی

پس از آن‌که اورستد درسال ۱۸۱۹ میلادی خاصیت مغناطیسی جریان الکتریسیته‌را کشف کرد و با استفاده ازجریان الکتریسیته آهن‌ربای الکتریکی ساخته شد دانشمندان متوجه این مسئله شدندکه چگونه می‌توان از مغناطیس جریان الکتریسیته تولیدکرد ؟

قدم اساسی در راه تولید برق به‌وسیلهٔ مغناطیس توسط فارادی دانشمند انگلیسی برداشته شد. کارهای اساسی فارادی در این‌زمینه از سال ۱۸۳۱ میلادی شروع شد و آزمایشهایی که او انجام داد اساس‌کار دیناموها و ژنراتورها را تشکیل می‌دهد . در این بخش ، با چگونگی تولید جریان الکتریسیته به وسیلهٔ مغناطیس آشنایی بیشتری خواهید یافت .

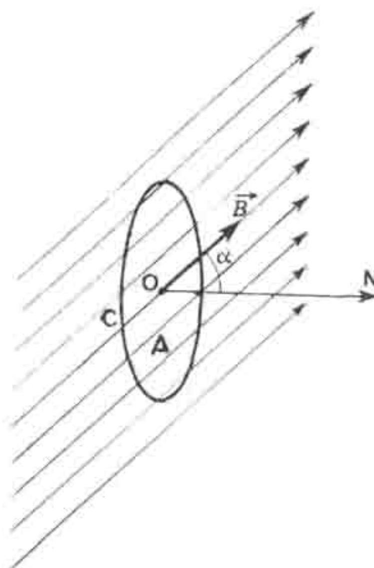
شارمغناطیسی

دیدیم‌که میدان مغناطیسی موجوددرناحیه‌ای از فضارا با خطوط نیروی میدان مغناطیسی نشان می‌دهند. چون خطوط نیروی میدان را برای نشان دادن **تغییرات اندوکسیون مغناطیسی B از یك نقطه‌به** نقطه دیگر اغلب نیز به‌کار می‌برند این خطوط را **«خطوط اندوکسیون» یا «خطوط القا» نیزمی‌نامند . راستای بردار اندوکسیون مغناطیسی B در هر نقطه از** میدان مماس برخط القا (یا خط نیروی) مغناطیسی است‌که ازآن نقطه می‌گذرد واندازه B (یعنی شدت میدان) با تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح می‌گذرد مشخص می‌شود. سطح واحد طوری انتخاب می‌شود که علاوه بر عمود بودن بر خطوط نیروی میدان، ازنقطه موردنظر نیز بگذرد.

مجموع خطوط القایی را که از یك سطح محدود می‌گذرد شار یا فلوی مغناطیسی می‌نامند آن را به φ نمایش می‌دهند. اگر میدان مغناطیسی یکنواخت باشدوسطح A عمود برخطوط نیرو گرفته شود شار مغناطیسی‌که ازاین سطح می‌گذرد برابر است با:

$$\boxed{\varphi = B\ .\ A} \qquad (۱-۸)$$

در این رابطه **B** معرف تعداد خطوط نیرویی است که از واحد سطح می‌گذرد، بنابراین می‌توان گفت شدت میدان مغناطیسی (یا اندازه القای مغناطیسی **B**) عبارتست از شار مغناطیسی که از واحد سطح عمود بر راستای خطوط نیروی میدان (یا خطوط‌القا) می‌گذرد و آن را چگالی شار مغناطیسی نیز نامیده‌اند.



شکل ۸-۱- فلوی مغناطیسی که از یک‌سطح می‌گذرد برابراست با

$$\varphi = B\ .\ A\cos\alpha$$

بدیهی است اگر سطح **A** بر راستای خطوط نیروی میدان عمودنباشد شار کمتری ازآن‌می‌گذرد در این حالت اگر α زاویه بین راستای بردار اندوکسیون مغناطیسی(B) وخط عمود برسطح (ON) باشد (شکل ۸-۱) شارمغناطیسی که ازسطح **A** می‌گذرد برابر است با:

$$\boxed{\varphi = B\ .\ A\cos\alpha} \qquad (۲-۸)$$

واحد B در دستگاه بین‌المللی واحدها، چنان که دیدیم تسلا (یانیوتن برمترآمپر[۱]) است بنابراین φ برحسب $\frac{\text{نیوتن متر}}{\text{آمپر}}$ بیان می‌شودکه آن را وبر[۲] (با علامت اختصاری wb) می‌نامند.

تعریف واحد اندوکسیون مغناطیسی

در رابطه (۸-۱) φ برحسب وبر، **B** برحسب تسلا و **A** بر حسب متر مربع است و بر اساس همین رابطه است که تسلا، واحد اندوکسیون مغناطیسی تعریف می‌شود:

$$\boxed{۱(T) = \frac{۱(Wb)}{۱(m^۲)}} \qquad (۳-۸)$$

یعنی: تسلا اندوکسیون‌مغناطیسی یکنواختی است که اگر درصفحه‌ای به مساحت یک مترمربع و در راستای عمود برصفحه توزیع گردد، شارمغناطیسی که ازآن سطح می‌گذرد برابر یک‌وبر باشد.

دردستگاه واحدهای قدیمی سانتیمتر ـ گرم ـ

۱ـ نیوتن بر مترآمپر از رابطه **F=qVB** که در بخش ۷ باآن آشنا شده‌اید نتیجه می‌شود زیرا $B=\frac{F(N)}{q(C).V\left(\frac{m}{s}\right)}$ و $\left(\frac{C}{s}\right)$ برابر آمپر است.

۲ـ به‌افتخار **Wilhelm weber** (۱۸۰۴-۱۸۹۰ میلادی)

ثانیه (cgs) ،واحد شار مغناطیسی ماکسول است و B در این دستگاه بر حسب $\frac{\text{ماکسول}}{\text{سانتیمتر مربع}}$ یا «گوس[1]» بیان می‌شود برای مقایسه واحدهای دستگاه جدید SI با واحدهای cgs که در کتابهای فیزیك قدیم نوشته شده است یادآور می‌شویم که :

$$\text{گوس } 1 = 1 \frac{\text{ماکسول}}{\text{سانتیمتر مربع}}$$

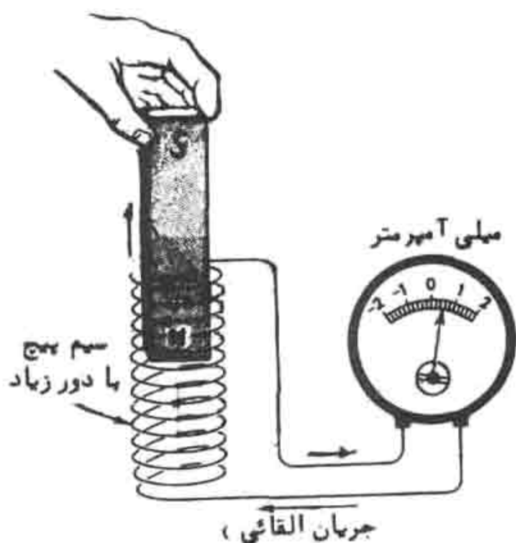
و
$$\text{تسلا } 1 = 1 \frac{\text{وبر}}{\text{مترمربع}}$$

پس
$$\text{گوس } 10^4 = 1 \text{ تسلا}$$

و
$$\text{ماکسول } 10^8 = 1 \text{ وبر}$$

آزمایشهای فارادی برای تولید جریان الکتریسیته به‌وسیلهٔ مغناطیس

فارادی در یادداشتهای خود شرح داده است که چگونه دریك سیم پیچ مسی، که آنرا روی‌یك لولهٔ مقوایی پیچیده ودوسرش را به‌یك آمپرسنج بسیار حساس (گالوانومتر) وصل‌کرده بود ، هنگام نزدیك‌کردن یا دورکردن یك آهن‌ربا به سیم‌پیچ در آن جریان الکتریسیتهٔ موقتی به وجود آمده و گالوانومتر این جریان را نشان داده است . در زمان فارادی، هنوز، سیمهای روپوشدار مسی که امروزه متداول است ساخته نشده بود وفارادی با نوار پارچه‌ای هرلایه سیم‌پیچ را از لایهٔ دیگر جدا می‌کرد . شماهم می‌توانید آزمایش فارادی را به آسانی تکرارکرده و جریان القایی تولید کنید : دوسرسیم‌پیچ قرقره مانندی را که مثلاً دارای ۴۰۰ یا ۶۰۰ حلقه است با سیمهای رابط به دو محل اتصال یك میلی‌آمپرمتر وصل کنید (شکل۸–۲) و یکی‌ازقطبهای‌یك‌آهن‌ربای تیغه‌ای را به‌سرعت وارد سیم‌پیچ نمایید . عقربهٔ میلی‌آمپرمتر در یك جهت منحرف می‌شود . وقتی‌که آهن‌ربا را درون سیم‌پیچ

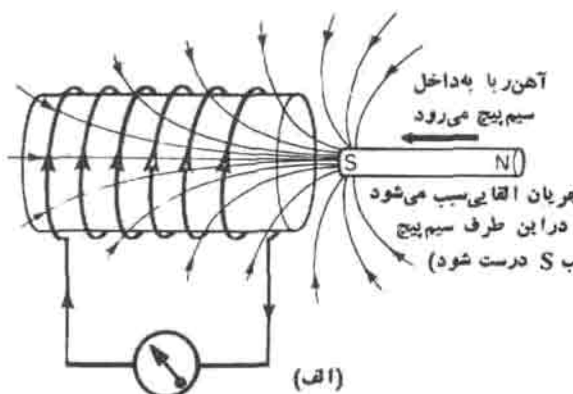


شکل ۸-۲- نمونه آزمایش فارادی برای ایجاد جریان‌القایی

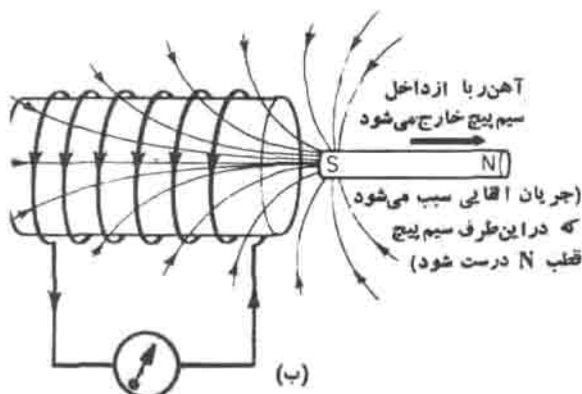
بی‌حرکت‌نگاه‌می‌دارید عقربه‌به‌جای‌خود برمی‌گردد وهیچ انحرافی را نشان نمی‌دهد ولی هنگامی که آهن‌ربا را ازسیم‌پیچ دور می‌کنید عقربه در خلاف جهت اول خود منحرف می‌شود ونشان می‌دهدکه جریان الکتریسیته در خلاف جهت اول خود در سیم پیچ ایجاد می‌شود (شکل ۸–۳ الف و ب) . این پدیده را القای الکترومانیتیکی وجریان حاصل را جریان القایی نامیده‌اند .

دراین‌آزمایشهابهتر این است ازمیلی‌آمپرمتری استفاده شودکه صفر درجه‌بندی آن در وسط صفحهٔ

۱- Gauss



الف ــ با نزدیك کردن قطب S آهن‌ربا به سیم‌پیچ، جریان القایی طوری در سیم‌پیچ ایجاد می‌شود که انتهای سیم‌پیچ نزدیك به‌قطب S آهن‌ربا، نیز قطب S می‌شود.



ب ــ با دورکردن قطب S آهن‌ربا از سیم‌پیچ، جهت جریان در سیم‌پیچ معکوس و انتهای آن تبدیل به قطب N می‌شود.

شکل ۸-۳- القای الکترومانیتیکی

مدرج باشد و درنتیجه عقربه در وسط صفحهٔ مدرج قرارگیرد تاانحراف‌آن به‌هردو طرف مشخص‌شود.

توجه به‌این نکته مهم است‌که جریان القایی درصورتی درسیم‌پیچ به‌وجود می‌آید که شار (فلوی) مغناطیسی‌که از درون‌آن می‌گذرد تغییرکند. بنابراین اگرآهن‌ربا در مقابل سطح سیم‌پیچ بی‌حرکت بماند باآن‌که شار مغناطیسی از درون سیم‌پیچ می‌گذرد درسیم‌پیچ جریان القایی به‌وجود نمی‌آید.

پرسش ۸-۱- اگرآهن‌ربارامقابل‌سیم‌پیچ‌ثابت نگاه‌داریم‌ولی‌یك میلهٔ‌آهن‌خالص ضخیم را به‌سرعت وارد سیم پیچ‌کنیم عقربهٔ میلی‌آمپرمتر منحرف‌شده و تولید جریان القایی را نشان‌می‌دهد. آیامی‌توانید علت را بیان‌کنید؟

فارادی ضمن آزمایشهای خود به این نتیجه رسیدکه شدت جریان القایی درسیم‌پیچ با عاملهای زیر متناسب است:

۱- تعداد حلقه‌های سیم پیچ؛

۲- شدت آهن‌ربایی آهن‌ربا؛

۳- سرعت حرکت آهن‌ربا نسبت به سیم‌پیچ.

پرسش ۸-۲ - اگرآهن‌ربارا ثابت نگاه‌داریم ولی سیم‌پیچ‌را به‌آن نزدیك یا ازآن دورکنیم آیا بازهم جریان القایی درآن تولید می‌شود؟

نتایج حاصل ازآزمایشهای بالا درقانون زیر به‌نام «قانون القای الکترومانیتیکی‌فارادی» خلاصه می‌شود:

قانون القای الکترومانیتیکی فارادی:

هرگاه شار مغناطیسی که از یك مدار می‌گذرد تغییر کند در آن مدار نیروی محرکه‌ای القا می‌شود که اندازهٔآن بستگی به سرعت تغییر شار مغناطیسی (یعنی میزان تغییر شار در واحد زمان) دارد.

پس از انتشارگزارش کارهای فارادی دربارهٔ تولید جریان برق به وسیلهٔ مغناطیس، دانشمندان کشورهای دیگر آزمایشهای فارادی را تکرار و

کارهای اورا دنبال کردند . از جمله لنز[1] ازکشور روسیه برای تعیین جهت جریان القایی آزمایشهایی انجام داد ونتایج آزمایشهای خودرابه‌صورت‌قانونی که به‌نام خوداو قانون لنز نامیده‌می‌شود به‌صورت زیر بیان کرد :

قانون لنز دربارهٔ القای الکترومانیتیکی

جهت جریان القایی همواره چنان است که مانع تغییر شار مغناطیسی می‌شود . شکل (۸-۲) کاربرد این قانون را هنگامی که جریان القایی در یك سیم‌پیچ به‌وجود می‌آید نشان می‌دهد:

مثلا وقتی قطب S آهن‌ربا به‌سیم‌پیچ نزدیك می‌شود جهت جریان القایی در سیم‌پیچ چنان است که انتهای سیم‌پیچ که مجاور قطب S آهن‌رباست نیز قطب S می‌شود تا مانع نزدیك شدن قطب S بشود ، زیرا دو قطب همنام یکدیگر را می‌رانند. برعکس هنگامی که قطب S آهن‌ربا از سیم‌پیچ دور می‌شود جهت جریان القایی در سیم‌پیچ عوض می‌شود و همین قطب سیم‌پیچ که نزدیك قطب S آهن‌رباست به‌صورت قطب N درمی‌آید تا با دور شدن آهن‌ربا مخالفت کند زیرا دو قطب ناهمنام یکدیگررا می‌ربایند .

«قانون لنز» در واقع مثال ساده‌ای ازکاربرد «قانون بقای انرژی» است. زیرا وقتی که در یك مدار جریان القایی‌تولید می‌شود درآن مدارانرژی الکتریکی به‌مصرف می‌رسد . منبع تولیداین‌انرژی کاری است که هنگام حرکت دادن آهن‌ربا انجام می‌گیرد . بدیهی است در مقابل انجام این‌کار باید نیروی مخالفی موجود باشد تا آن را به مصرف برساند .

جهت جریان القایی در یك سیم راست

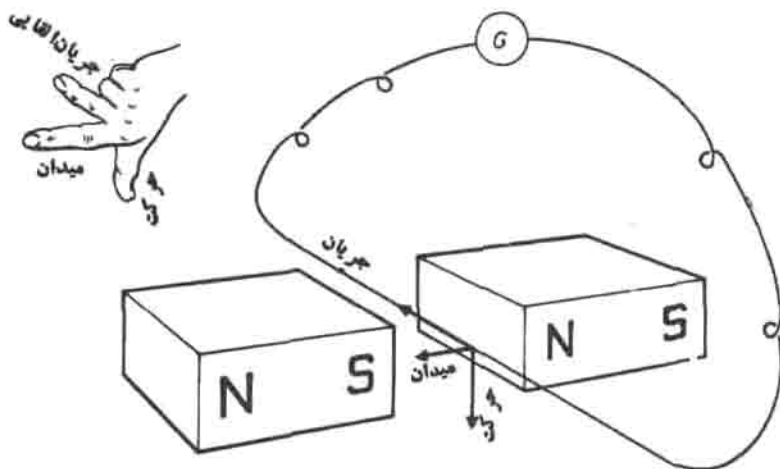
فارادی ضمن آزمایشهای متعدد خود نشان داد هنگامی که یك سیم راست‌دریك میدان‌مغناطیسی و در راستای عمود برخطوط میدان به حرکت در می‌آید درآن جریان القایی تولید می‌شود . شکل (۸-۳) سیم مسی راستی‌را نشان می‌دهدکه بین دو قطب ناهمنام آهن‌ربا قرار گرفته ودوسرآن به‌وسیلهٔ سیمهای رابط به دومحل اتصال یك میکروآمپرمتر متصل‌است.(بهتر این است که صفر میکروآمپرمتر وسط صفحهٔ مدرج باشد) . اگر سیم روبه‌پایین به‌حرکت درآید به‌طوری که خطوط میدان مغناطیسی قطع شوند، جریان القایی درآن در جهتی که روی‌شکل نشان داده شده است به وجود می‌آید و عقربهٔ میکروآمپرمتر در جهت معینی منحرف می‌شود . اگرسیم روبه‌بالابه حرکت درآید جهت جریان درآن معکوس می‌شود وعقربه در خلاف جهت اول‌خود منحرف می‌گردد .

پرسش ۸-۳ - اگر سیم موازی با خطوط میدان به‌حرکت درآید در آن جریان القایی تولید نمی‌شود. آیا می‌توانید علت‌آن را بیان کنید ؟

چند سال بعد از آزمایش فارادی ، فلمینگ با تکرار آزمایشهای او دستور ساده‌ای وضع کردکه به‌کمك آن‌می‌توان ارتباط‌بین جهت میدان‌مغناطیسی و جهت حرکت سیم وجهت جریان القایی‌را درآن به‌آسانی معین کرد . این دستور که به نام خود او

---

[1] - H. F. E. Lenz (۱۸۰۴-۱۸۶۵ م) فیزیك‌دان روسی



شکل ۸-۳- وقتی که یك سیم راست عمود بـر خطوط میدان به‌حرکت درآید درآن جریان القایی تولید می‌شود.

دستور سه‌انگشت دست راست فلمینگ نامیده می‌شود چنین است :

دستور سه‌انگشت دست راست فلمینگ

انگشتهای شست و نشانه ومیانی دست راست خود را طوری نگاه‌دارید کـه دو به‌دو برهـم عمود باشند . اگر انگشت نشانه را درجهت میدان مغناطیسی



شکل ۸-۴- دستور سه‌انگشت دست راست

(از N بـه سوی S) و انگشت شست را در جهت حرکت سیم بگیرید انگشت‌میانی‌جهت جریان القایی را نشان می‌دهد (شکل ۸-۴) .

به خاطر بسپارید :

شست : حرکت

نشانه : میدان

میانی : جریان

پرسش ۸-۴ - ایجاد نیروی محرکه القائی معرف این است‌که یك مقدار انـرژی الکتریکی در مدار تولید می‌شود. منبع تولید این‌انرژی چیست؟

نیروی محرکه القائی

می‌دانیم هرگاه بار الکتریکـی q بـا تندی ثابت v در یـك میدان مغناطیسی‌کـه **چگالی شار** مغناطیسی (اندوکسیون مغناطیسی) آن B است حرکت کند براین بار الکتریکی نیرویی وارد می‌شود که‌آن را از مسیر اولیه خود منحرف می‌نماید . اندازه این نیرو هنگامی‌که بار q عمود برراستای خطوط‌القای مغناطیسی حـرکت مـی‌کند از رابطه زیـر حساب

می‌شود:[1]

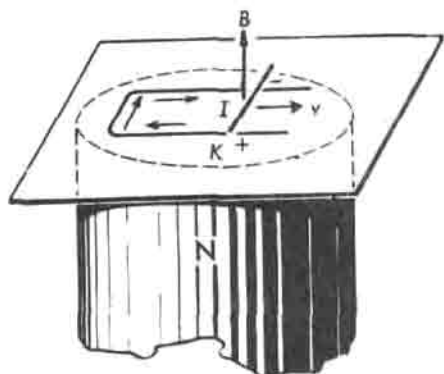
$$F=Bqv$$

و راستای نیروی F نیز عمود بر راستاهای B و v است.

وقتی یك سیم منفرد، در میدان مغناطیسی طوری حرکت می کند کـه خطوط نیروی میدان قطع می ـ شوند ، هر یك از بارهای الکتریکی درون اتمهای سیم‌تحت‌تأثیر یك نیروی F قرارمی گیردکه موازی باسیم است. چون دریك جسم هادی، فقط‌الکترون‌های آزادمی‌توانندحرکت‌کنند، بنابراین‌الکترونهای آزاد سیم‌که دارای بارمنفی هستند تحت‌تأثیرنیروی F، حاصل از حرکت بار در میدان، به یك سر سیم منتقل شده درآنجا پتانسیل منفی به‌وجودمی‌آورند و درنتیجه در سر دیگر سیم پتانسیل مثبت به‌وجود می‌آیـد ومیان دو سرسیم اختلاف پتانسیل بـرقرار می‌شود. اگر جسم هادی به جای سیم فلـزی، یك مایع یاگاز یونیزه باشد، یـونهای منفی آن به یك طرف و یـونهای مثبت آن به طـرف دیگر حرکت می کنند.

اینك درنظر بگیریم که یك قطعه سیم راست روی یك‌سیم دیگر به شکل U قرارگرفته است وبه آسانی می‌تواند روی‌آن بلغزد و این مجموعه مدار بسته‌ای‌را تشکیل می‌دهد[2] اگراین مجموعه‌رامطابق شکل (۸ـ۵) درمیدان مغناطیسی B قرار دهیم وقطعه سیم راست‌را درجهتی‌که درشکل نشان داده شده است روی هادی U تغییر مکان دهیم اختلاف پتانسیلی‌که در دوسرآن ایجاد می‌شود الکترونها را درمدار به‌حرکت در می‌آورد و بدین‌ترتیب جریان القائی تـولید می‌شود. بـه عبارت دیگر، هـادی متحرك درمیدان مغناطیسی به صورت یك منبع نیروی محرکه درمی‌آید.

جهت جریانی‌که درشکل نشان داده‌شده‌است



شکل ۸ـ۵- ایجاد جریان القایی در اثر حرکت یك هادی در میدان مغناطیسی . جهت حرکت الکترونها در مدار خلاف جهت نشان داده شده است .

همان جهت قراردادی جریان است .

نیروی محرکه‌ای که بدین‌سان در یك هادی به‌طول l ایجاد می‌شود معرف مقدارکاری است که واحد بارالکتریکی هنگام جریان‌ازیك‌سر هادی‌به‌سر دیگرآن انجام می‌دهد. چون‌کار، برابر حاصل‌ضرب نیرو درتغییرمکان است بنابراین کار نیروی: $F=Bqv$ درتغییر مکان l برابراست با:

$$W=Bqvl$$

اگر دو طرف این رابطه رابر q تقسیم کنیم

۱- به بخش ۷ مراجعه‌کنید .

۲- بدیهی است سیمها بدون روپوش هستند به‌طوری‌که بین‌آنها تماس الکتریکی برقرار است.

خواهیم داشت:

$$\frac{W}{q}=Bvl$$

$\frac{W}{q}$ چنان‌که گفتیم کار انجام یافته برای‌واحد بار الکتریکی، یعنی‌نیروی محرکه القائی است، بنابراین:

$$\boxed{E=Bvl} \qquad (۴-۸)$$

E نیروی محرکه القائی است‌که با اختلاف پتانسیل دوسرقطعه سیم متحرك برابر است.

در دستگاه واحدهای بین‌المللی (SI)، E برحسب ولت و B بر حسب تسلا و v بر حسب متر برثانیه و l برحسب متر بیان می‌شود.

مثال ـ اگر سیم راستی به‌طول ۲۵ سانتیمتر باتندی ثابت ۴۵متر برثانیه دریك میدان‌مغناطیسی یکنواخت به شدت ۰/۲۰ تسلا، عمود بر راستای خطوط نیروی میدان حرکت کند نیروی‌محرکه القائی‌که درآن تولید می‌شود چندولت خواهدبود؟

داریم: $E=Bvl$

به‌ازاء $B=۰/۲۰T$ و $v=۴۵\frac{m}{s}$

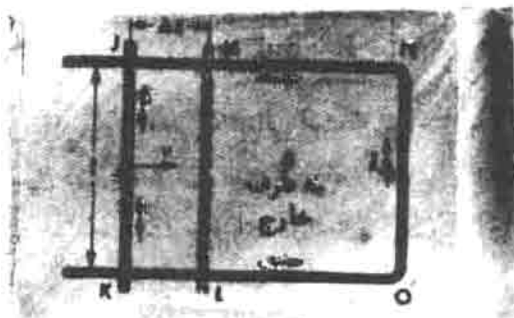
و $l=۰/۲۵m$

$$E=۰/۲۰\times۴۵\times۰/۲۵=۲/۲۵V$$

اینك با توجه بـه مطالب فوق قانون فارادی دربارهٔ نیروی محرکه القایی بـه صورت‌کاملتر چنین بیان می‌شود :

نیروی محرکه القـایی کـه در اثـر تغییر شار مغناطیسی در یك مدار تـولید می‌شود برابر است با اندازه تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان .

برای توضیح این قانون، دوباره حرکت یك هادی‌را درمیدان مغناطیسی مطابق شکل (۸-۶)



شکل ۸-۶- تغییر شار مغناطیسی سبب ایجاد جریان القایی می‌شود . در این شکل جهت قراردادی جریان نشان داده شده است و جهت حرکت الکترونها خلاف جهت جریان قراردادی است .

روی سیمی به شکل U جداگانه درنظر می‌گیریم. فرض کنیم قطعه سیم متحرك بـا سرعت v مطابق شکل حرکت‌کند. درلحظه‌ای که این قطعه سیم در وضع JK است سطحی کـه شار مغناطیسی از آن می‌گذرد JKON است. اگر مساحت این سطح را به A_1 نمایش دهیم شار مغناطیسی φ_1 کـه در این لحظه ازآن می‌گذرد برابر $B . A_1$ است.

پس از گـذشت زمان کوتاه Δt، قطعه سیم متحرك به‌وضع ML می‌رسد و در این لحظه، شار مغناطیسی φ_2 که از مدار بسته MLNO می‌گذرد برابر $B . A_2$ است. بنابراین تغییر شار مغناطیسی درمدت Δt برابر است با:

$$\Delta\varphi=\varphi_1-\varphi_2$$

ونیروی‌محرکه‌القائی طبق‌قانون فارادی‌برابر است با:

$$\boxed{E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\ \frac{\text{(وبر)}}{\text{ثانیه}}\ \text{(ولت)}} \qquad (۵-۸)$$

پرسش ۸-۵- چگونه‌می‌توان رابطه‌اخیررا مستقیماً از فرمول $E=Bvl$ بدست آورد؟

یادآوری ۱ - تعریف «وبر» (واحد شار مغناطیسی در دستگاه بین‌المللی واحدها) از رابطه (۸-۵) نتیجه‌گرفته می‌شود. زیرا داریم:
$\Delta\varphi = E \cdot \Delta t$ ، به ازاء $E=1$ ولت و $\Delta t=1$ ثانیه $\Delta\varphi=1$ وبر خواهدشد. بنابراین وبر واحد شار مغناطیسی چنین تعریف می‌شود:

وبر شار مغناطیسی است‌که چون از مداری که فقط شامل یك‌حلقه است بگذرد وبه‌طور یکنواخت‌کم شود تا درمدت یك ثانیه به صفر برسد نیروی الکترو-موتوری حاصل از تغییر شار در آن مدار مساوی یك ولت باشد.

یادآوری۲- دررابطه $E=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ اگر زمان Δt بزرگ باشد E نیروی محرکه القائی متوسط بین دولحظه t و $t+\Delta t$ است یعنی:

$$\overline{E}=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

($\overline{E}$ نمایش نیروی محرکه القائی متوسط است).
اگر زمان Δt کوچك وکوچکتر شود به‌طوری‌که‌به سمت صفر میل‌کند تغییرشار $\Delta\varphi$ نیز به سمت صفر میل می‌کند و نسبت $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ به‌سمت‌حدی‌میل‌می‌نماید که بنا به تعریف مشتق شار مغناطیسی نسبت به زمان است. این‌حدکه آن را به $\frac{d\varphi}{dt}$ نمایش می‌دهیم معرف قدر مطلق نیروی محرکه القائی در لحظه t است یعنی:

$$E=\frac{d\varphi}{dt} \qquad (۸-۶)$$

جهت نیروی محرکهٔ القائی- نیروی‌محرکه‌القائی هم‌جهت باجریان القائی است وجهت آن، چنان‌که می‌دانیم، همواره چنان است که مانع تغییر شار مغناطیسی می‌شود (قانون لنز). جهت نیروی محرکه القائی دریك سیم راست ازدستور سه‌انگشت دست راست معین می‌شود. معمولا برای نشان‌دادن قانون لنز، نیروی‌محرکه القائی را به صورت زیر نمایش می‌دهند.

$$E=-\frac{d\varphi}{dt} \qquad (۸-۷)$$

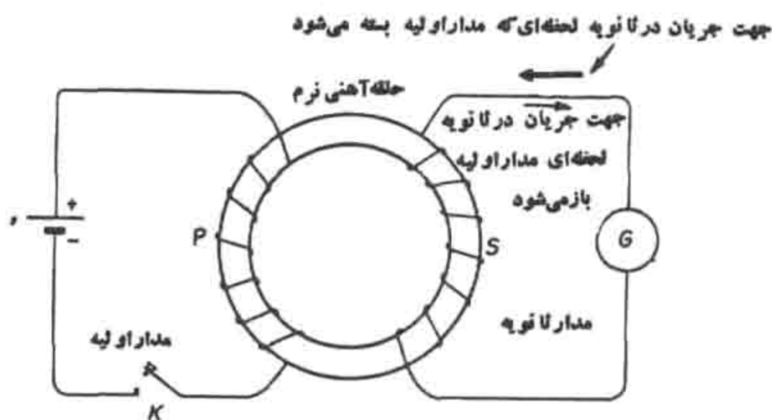
علامت منها که جلو $\frac{d\varphi}{dt}$ آمده‌است دراندازه E مؤثر نیست وفقط معرف قانون لنز است.

پرسش ۸-۶- اگر مداری‌که درآن جریان القائی تولید می‌شود دارای مقاومت الکتریکی R باشد شدت جریان‌دراین مدار ازچه رابطه‌ای‌حساب می‌شود؟

القای متقابل - آزمایش فارادی با یك حلقهٔ آهنی

فارادی، پس از آن که به وسیلهٔ یك تیغهٔ آهن‌ربا جریان القایی دریك سیم پیچ به‌وجود آورد به‌این فکر افتادکه به‌جای تیغهٔ آهن‌ربا، از سیم‌پیچ دیگری‌که ازآن جریان برق عبور می‌داد برای تولید جریان القایی استفاده کند به عبارت دیگر، آهن‌ربای الکتریکی را برای تولید جریان القایی مورد استفاده قرار دهد. روشی‌که فارادی برای این منظور به‌کار برد در شکل (۸-۷) نمایش داده شده است:

دو سیم‌پیچ PوS در دو طرف یك حلقه از



شکل ۸-۷- آزمایش فارادی با حلقهٔ آهنی

آهن خالص(به‌قطر۱۵سانتیمتر و به‌کلفتی۲سانتیمتر) مقابل هم پیچیده شده است . دوسرسیم‌پیچ اولی P به‌یك باتری ویك‌کلید متصل است و دوسر سیم‌پیچ دومی S به دومحل‌اتصال میلی‌آمپرمتری بسته‌شده است. درلحظه‌ای که‌کلید k بسته می‌شود درسیم‌پیچ P جریان برقرارمی‌گردد. این جریان‌سبب می‌شود که شار مغناطیسی، هم ازحلقهٔ آهنی وهم از درون سیم‌پیچ S بگذرد و درنتیجه ، در سیم‌پیچ Sجریان موقتی به‌وجود آید و عقربهٔ میلی‌آمپرمتر انحراف موقتی پیداکند .

پرسش ۸-۷- این انحراف چه موقع صورت می‌گیرد وتا چه‌وقت ادامه دارد؟

وقتی که کلیدبازمی‌شود جریان‌برق درسیم‌پیچ P قطع می‌گردد وشار مغناطیسی ازبین می‌رود و به علت تغییر ناگهانی شار مغناطیسی ، در سیم‌پیچ S جریان القایی موقتی در خلاف جهت حالت پیش تولید می‌شود و عقربهٔ میلی‌آمپرمتر نیز در خلاف جهت اولیهٔ خود منحرف می‌گردد .

پرسش ۸-۸- اگر به‌جای حلقهٔ آهنی، سیم‌پیچها روی حلقهٔ چوبی‌پیچیده شوند وآزمایش انجام‌گیرد به‌نظرشما آیا بازهم جریان القایی درسیم‌پیچ دوم به‌وجود خواهد آمد؟

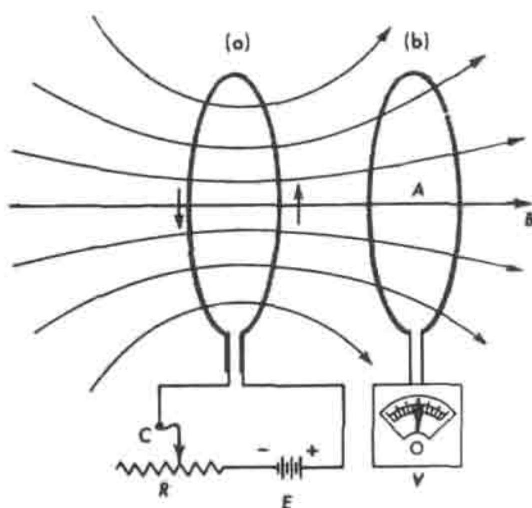
به‌طور کلی ، هرگاه دوسیم‌پیچ مجاور هم قرار گرفته باشند به‌طوری‌که تغییر شدت جریان دریکی از این دو سیم‌پیچ سبب ایجاد جریان القایی دردیگری بشود این عمل‌را «القای متقابل» گویند .

شکل ۸-۸ دومدارحلقه‌ای‌شکل(a)و(b) را نشان می‌دهدکه روبه‌روی هم‌قرار گرفته‌اند حلقه (a) متصل به‌باتری E و رئوستای R است و حلقه (b)وصل به‌یك میلی‌ولتمتر می‌باشد وقتی‌که ازمدار (a) جریانی‌به‌شدت I می‌گذرد دراطراف آن‌میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آیدکه شدت آن در هرنقطه ازمیدان متناسب باشدت جریان I است و مقداری از این شار مغناطیسی از سطح حلقه (b) می‌گذرد. هرگاه باکم کردن مقاومت رئوستا شدت جریان در مدار(a) افزایش یابد، شار مغناطیسی حاصل از(a) وشار مغناطیسی که از سطح (b) می‌گذرد افزایش می‌یابد ودرمدتی‌که شار تغییرمی‌کند نیروی‌محرکه القائی درمدار (b) به‌وجود می‌آید که میلی‌ولتمتر آن را نشان می‌دهد. اگر با تغییر مقاومت رئوستا

شدت جریان درمدار (a) کاهش یابد، شارمغناطیسی نیز کاهش می‌یابد و در مدار (b) جریان القائی در خلاف جهت حالت نخست تولید می گردد.

اگر مدار (b) فقط شامل یك حلقه باشد نیروی محرکه القائی در آن $E=-\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ است ولی اگراین مدار شامل N حلقه باشد وهمان‌تغییر شار $\Delta\varphi$ در آن صورت‌گیرد نیروی محرکه القائی حاصل از این تغییر شار برابر است با :

$$E=-N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (\text{۸ - ۸})$$



شکل ۸-۸- وقتی‌که شدت جریان در مدار (a) تغییر می‌کند میدان مغناطیسی اطراف (a) و در نتیجه فلوی مغناطیسی که از سطح حلقه (b) می‌گذرد تغییر می‌کند و در مدار این حلقه جریان القائی تولید می‌شود

می‌توان به‌جای حلقه اولی، سیم پیچ روپوش‌داری انتخاب کرد و به‌جای حلقه دوم، سیم پیچ روپوش‌دار دیگری را روی سیم‌پیچ اولی پیچید و به‌جای رئوستا یك کلید قطع و وصل خودکار قرار داد. وقتی که کلید قطع و وصل می‌شود در سیم‌پیچ دومی نیروی محرکه القائی به‌وجود می‌آید که هر چه تعداد حلقه‌های آن بیشتر و زمان قطع و وصل جریان کوتاه‌تر باشد اندازه این نیروی محرکه بیشتر است. چنین دستگاهی «بوبین القاء» نامیده می‌شود[1].

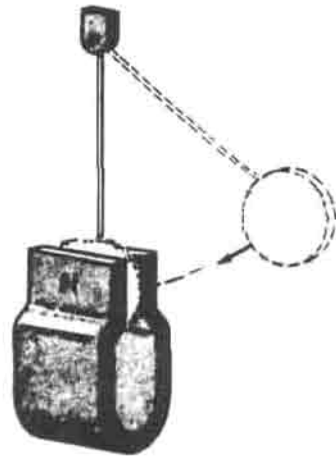
پرسش ۸-۹- در دینامو‌های مولد جریان الکتریسیته (متناوب‌یایك طرفه) تغییر شارمغناطیسی در اثر تغییرچه عاملی حاصل می‌شود؟

جریانهای گردابی یا جریانهای فوکو

در پاره‌ای از دستگاههای الکتریکی مانند دینامو‌یك قطعه فلزی در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند و در پاره‌ای دیگر مانند ترانسفورماتور یك قطعه فلزی در میدان مغناطیسی متغیر قرار دارد و درهر حال درون این قطعه‌های فلزی هم جریان القایی در مسیرهای بستهٔ دایره‌ای شکل به وجود می‌آید که آنها را جریانهای‌گردابی یا جریانهای فوکو نامیده‌اند. جهت این جریانها طوری است که میدانهای مغناطیسی حاصل از آنها بر میدانهای مغناطیسی اصلی طبق قانون لنز اثر می‌کند و مانع حرکت‌آنها می‌شود. این کیفیت‌را می‌توان با آزمایش ساده‌ای که‌درشکل ۸-۹ نشان داده شده است مجسم کرد: یك قرص مسی یاآلومینیومی که به صورت‌آونگ نوسان می‌کند

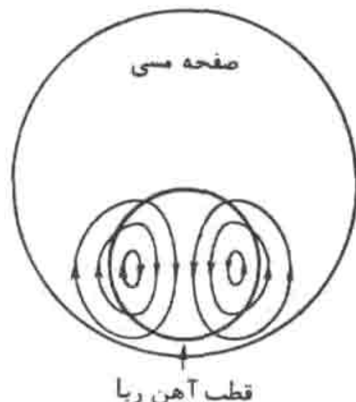
۱- نمونه بوبین القا معمولا درآزمایشگاه فیزیك موجود است. اگر دراختیار دارید از نزدیك با طرز کار آن آشنا شوید.

وقتی وارد میدان مغناطیسی یک‌آهن ربا (معمولی یا الکتریکی) می‌شود حرکتش کند می‌شود و می‌ایستد.



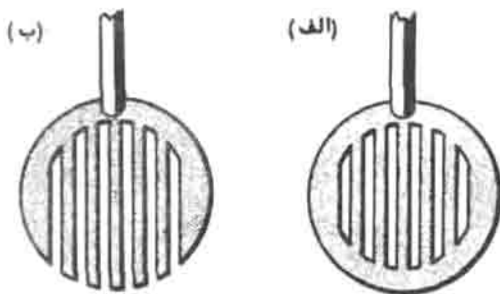
شکل ۸ ـ ۹ ـ القاء جریان الکتریکی در قرص مسی که مانند یك پاندول در میدان مغناطیسی نوسان می‌کند سبب می‌شود که حرکت پاندول به‌سرعت کند شود و متوقف گردد.

علت این کیفیت چنان‌که گفتیم این است که در قرص متحرك مطابق شکل (۸ـ۱۰) جریانهای گردابی به وجود می‌آید و میدان مغناطیسی حاصل از این جریانها در خلاف جهت میدان مغناطیسی اصلی اثر می‌کند.



شکل ۸ ـ۱۰ـ ایجاد جریانهای گردابی در یك قرص مسی متحرك در میدان مغناطیسی

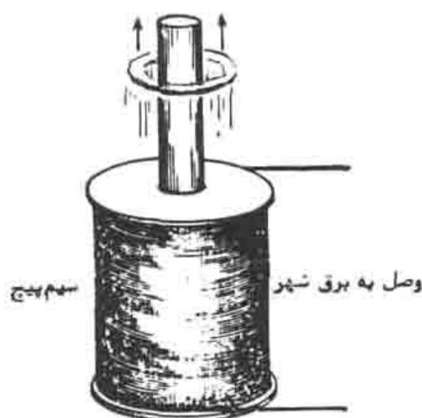
اگر قرص مسی مطابق شکل (۸ـ۱۱ـالف) شکاف‌دار ساخته شود، وقتی که قرص ضمن حرکت آونگی خود وارد میدان مغناطیسی می‌شود درتیغه‌های قائم بین‌شکافها جریان القائی شدیدی به‌وجود می‌آید ومیدان حاصل از این جریانها سبب می‌شود که قرص به‌آرامی و دیرتر از حالت اول بایستد ولی‌اگر شکافها مانند شکل (۸ـ۱۱ـب) بازباشند، هر یك از تیغه‌ها مانند یك مدار بازعمل می‌کند و جریان القائی قوی در آن تولید نمی‌شود، در نتیجه قرص‌مدت درازی مانند یك‌آونگ به‌حرکت نوسانی خود ادامه می‌دهد.



شکل ۸ـ۱۱ـ قرص شکاف‌دار مسی برای نشان دادن جریانهای القائی گردابی

در شکل (۸ ـ۱۲) آزمایش جالب دیگری برای نشان دادن تولید جریان القائی گردابی در اثر تغییر شار مغناطیسی نشان داده شده است‌که به آسانی می‌توان آن را در آزمایشگاه انجام داد:

درون یك سیم‌پیچ که ۴۰۰ یا ۶۰۰ حلقه دارد یک هسته آهنی بلند در راستای قائم قرار می‌دهیم ویك حلقه مسی یا آلومینیومی را نیزروی سیم‌پیچ می گذاریم به‌طوری که هسته آهنی درون حلقه نیز قرارگیرد، هرگاه سیم‌پیچ را به‌برق شهر وصل‌کنیم حلقه به‌طرف بالاپرتاب می‌شود و بالای



شکل ۸-۱۲- در اثر عبور جریان متناوب از سیم پیچ، حلقه می طبق قانون لنز به‌طرف بالا پرتاب می‌شود.

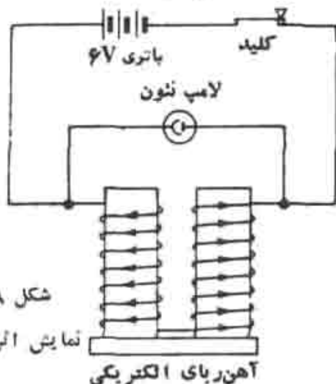
سیم‌پیچ معلق می‌ماند. در این آزمایش حلقه و سیم‌پیچ مانند یك ترانسفورماتور عمل می‌کندکه سیم‌پیچ مدار اولیه و حلقه مدار ثانویه آن را تشکیل می‌دهد و در هرلحظه جهت جریان القائی در حلقه طوری است‌که قطبهای همنام سیم‌پیچ وحلقه مقابل هم قرار می‌گیرند.

اثر خود القایی

هرگاه دوسرسیم‌پیچ یك آهن‌ربای الکتریکی بزرگ را به‌دوقطب یك باتری ۶ ولتی وصل‌کرده ودر مدارآن‌کلیدی قرار دهیم هنگام قطع جریان‌به وسیلهٔ کلید، درمحل‌اتصال‌کلید جرقهٔ‌کوچکی‌می‌زند. علت این است‌که با قطع‌کلید، شار مغناطیسی‌که از درون سیم‌پیچ آهن‌ربا می‌گذرد ازبین می‌رودودراثر تغییر ناگهانی شار مغناطیسی، خودبه‌خود نیروی محرکهٔ القایی بزرگتری به وجود می‌آید و همین نیروی محرکه است‌که سبب زدن جرقه در محل اتصال‌کلیدمی‌شود. این‌اثررا «خودالقایی» می‌گویند **زیرا نیروی‌محرکهٔ القایی خودبه‌خود درمدارتولید می‌شود وعامل خارجی در پیدایش‌آن دخالتی‌ندارد.** اگر تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ **آهن‌ربای الکتریکی** خیلی زیاد باشد نیروی **محرکه خود القایی‌که‌بدین** ترتیب تولید می‌شود خیلی‌بزرگتر **ازنیروی‌محرکهٔ** باتری است .

برای نشان دادن اثرخودالقایی‌کافی است یك لامپ نئون ، مطابق شکل (۸-۱۳) سیمهای‌رابط به‌دوسر سیم‌پیچ آهن‌ربای الکتریکی متصل شود . اختلاف پتانسیل لازم برای روشن شدن یك لامپ نئون دست‌کم در حدود ۱۸۰ ولت است. وقتی‌که کلید بسته است باآن‌که جریان ازسیم‌پیچ آهن‌ربای الکتریکی می‌گذرد لامپ خاموش است ولی هربار که کلید قطع می‌شود لامپ چند لحظه روشن می‌گردد .

آنچه که در اینجا اتفاق می‌افتد این است که مقداری از انرژی الکتریکی باتری در میدان مغناطیسی‌سیم‌پیچ‌به‌انرژی‌مغناطیسی‌تبدیل‌می‌گردد. هنگام قطع‌کلید، میدان مغناطیسی ازبین می‌رود و انرژی مغناطیسی دوباره به‌صورت انرژی‌الکتریکی به مدار پس داده می‌شود .



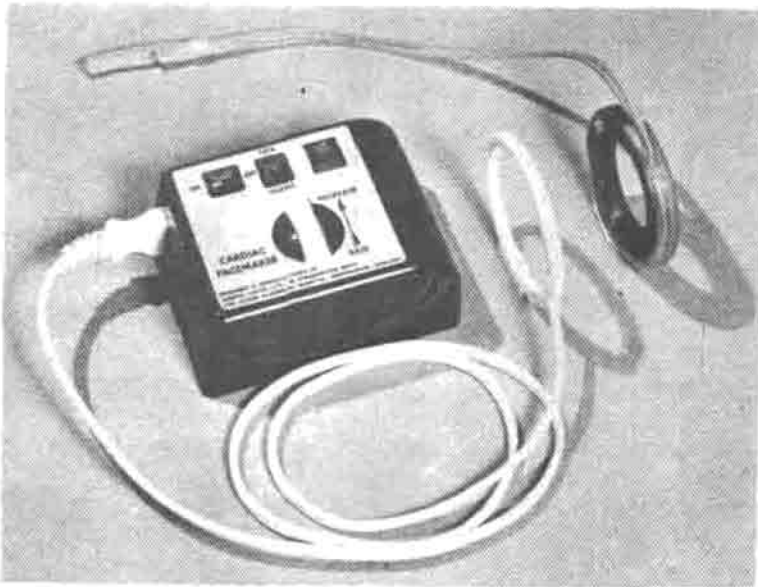
شکل ۸-۱۳
نمایش اثر خودالقایی

وقتی که‌کلید مدار باز میشود نیروی محرکه القایی بزرگ سبب روشن‌شدن لامپ نئون میگردد .

پرسش ۸ـ۱۰ـ۱ اگر سیم‌پیچی از یك سیم که دولا شده است پیچیده شود درآن نیروی محرکهٔ القایی یاخود القایی به‌وجود نمی‌آید. آیا می‌توانید علت آن‌را بیان‌کنید ؟

کاربردهای اثر القای الکترومانیتیکی

کشف اثر القای الکترومانیتیکی توسط فارادی سبب شدکه دانشمندان برپایهٔ این اثـر ، به تدریج وسایل مفیدی اختراع کنند . مثلا در حدود دوازده سال بعد از کشف فارادی دستگاه مولد برق (دینامو) اختراع شد. ابتدا از جریان برق حاصل از دینامو برای آب فلزکاری استفاده می‌شد ولی کم‌کم از آن برای تولید روشنایی نیز استفاده شد . **بحث دربارهٔ همهٔ موارد کاربرد اثر القای الکترومانیتیکی از برنامهٔ** این کتاب خارج است وشما در سالهای **بعد به‌تدریج** آنها را خواهید آموخت . **در اینجا فقط با چند** مورد از کاربرد این اثر، **به‌ویژه در تولید جریان** الکتریسیته ، آشنا خواهید شد . **پیش از مطالعهٔ**

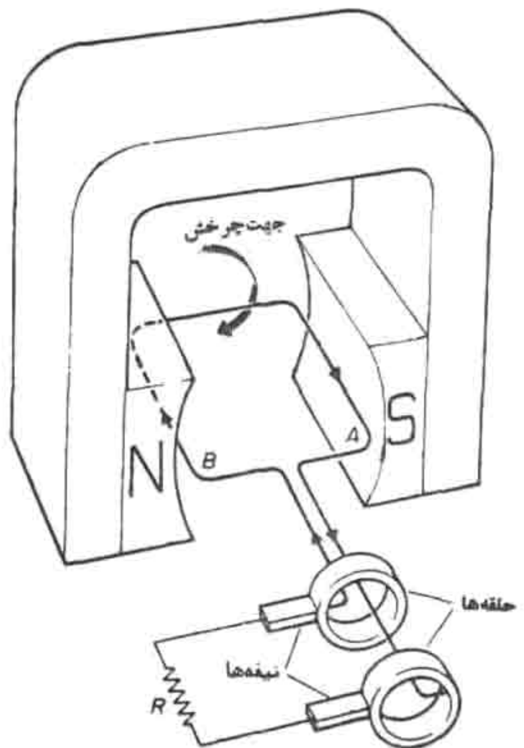


شکل ۸ـ۱۴ اسبابی راکه دراین شکل می‌بینید می‌توان دستگاه «تقویت قلب» نامید . این دستگاه براساس خاصیت القای الکترومانیتیکی ساخته شده است وهزاران بیمارمبتلا به‌مرض قلب را به‌زندگی فعال ومؤثر امیدوار ساخته‌است . سیم‌پیچی که بـه رنگ سیاه مشخص شده است درون محفظهٔ پلاستیکی قرار دارد وبا عمل جراحی درسطح داخلـی قفس سینه نصب می‌گردد و سیم‌پیچ دیگری‌که به رنگ سفید است روی قفسهٔ سینه درست مقابل سیم‌پیچ سیاه چسبانیده‌می‌شود . یك دستگاه الکترونیکی کوچك به‌سیم‌پیچ سفید متصل است‌که درآن نوسانات الکتریکی منظمی هماهنگ با ضربانهای‌قلب تولید می‌شود واین نوسانات الکتریکی توسط سیم‌پیچ سفید در سیم‌پیچ سیاه کـه درون قفسهٔ سینه است القا می‌شود . جریانی‌که بدین ترتیب در سیم‌پیچ سیاه القا می‌شود توسط دوالکترودکه در شکل دیده می‌شوند به ماهیچه‌های قلب منتقل می‌گردد و به‌این ترتیب یك قلب مریض‌وخسته با ضربانهای منظم وکنترل شده تقویت می‌شود. ضربانها به وسیلهٔ دگمه‌ای که روی دستگاه مولد الکترونیکی‌موجود است تنظیم وکنترل می‌گردند و اگـر در حادثه‌ای ارتباط مولد با سیم‌پیچ قطع شود دستگـاه، با کشیدن سوت خطـر، قطع ارتبـاط را اعلام می‌کند.

قسمت بعد نگاهی به شکل (۸-۱۴) و زیرنویس آن بیندازید .

مولد سادهٔ جریان متناوب

شکل(۸-۱۵)ساختمان یك نوع دینامو ی ساده‌را نشان‌می‌دهدکه بنا برخاصیت القای الکترو-مانیتیکی به‌طور دائم جریان متناوب تولید می‌کند.



شکل ۸-۱۵- مولد سادهٔ جریان متناوب (دینامو ی مولد جریان متناوب)

جریان حاصل از این دینامورا به‌این جهت متناوب می گویندکه سوی واندازهٔ نیروی محرکهٔ آن مرتباً تغییر می‌کند و تغییرات آن بـا نظم معینی تکرار می‌شود.

این دینامو دارای سیم‌پیچی به صورت قاب مستطیل شکل است‌که درمیدان مغناطیسی موجود بین دوقطب یك آهن ربای دائمی نعلی شکل می‌چرخد. دو سرسیم پیچ به دوحلقهٔ فلزی متصل‌است که روی محور سیم پیچ نصب شده‌اند. روی هریك از این حلقه‌ها یك تیغهٔ‌کربن[1] تماس دارد که وسیلهٔ انتقال جریان الکتریسیته به مدار خارج است.

وقتی‌که قاب درمیدان مغناطیسی میان دوقطب آهن‌ربا می‌چرخد، خطوط میدان توسط سیمهایی‌که دوضلع قاب را تشکیل می‌دهند قطع می گردند ودر نتیجه در سیم پیچ جریان القایی تولید می‌شود. برای تعیین جهت جریان در سیم‌پیچ، کافی است‌که دستور سه انگشت راست را به کار بریم: اگر قاب مطابق شکل، درجهت عقربه‌های ساعت بچرخد،در وضعی‌که شکل نشان می‌دهد، جهت جریان درضلع A ازعقب به‌جلو و درضلع B ازجلو به عقب‌است.

نمودار شکل(۸-۱۶)نشان‌می‌دهدکه چگونه نیروی محرکهٔ دینامو دریك دورکامل‌سیم‌پیچ تغییر می‌کند. برای‌رسم‌این‌نمودار، مبدأ زمان رالحظه‌ای انتخاب‌کرده‌ایم‌که سیم‌پیچ دروضع قائم‌بوده وضلع A بالاوضلع B پایین است. دراین‌وضع دوضلع AوB موازی با خطوط میدان حرکت می‌کنند وچون این

۱- این تیغه‌ها را زغال دینامو می‌نامند

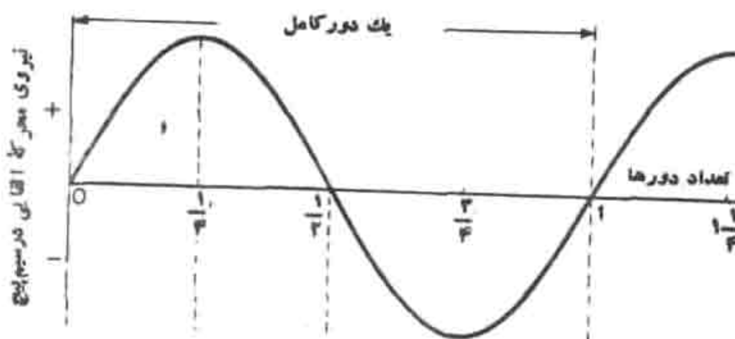
خطوط قطع نمی‌شوند در این لحظه نیروی محرکهٔ القایی صفر است. در مدتی که قاب یك چهارم دور می‌چرخد و به وضع افقی در می‌آید (وضعی که در شکل ۸-۱۵) نشان داده شده است) نیروی محرکه از صفر به بیشترین مقدار خود می‌رسد سپس، باادامهٔ چرخش قاب، درمدتی که یك چهارم دور دیگر پیموده می‌شود نیروی محرکهٔ القایی کاهش می‌یابد وموقعی که دوباره قاب به وضع قائم درمی‌آید به صفرمی‌رسد ولی دراین حالت B بالا و A پایین است.

درمدتی که سیم‌پیچ نیم دور دوم مسیر خود را می‌پیماید نیروی محرکهٔ القایی که در آن تولید می‌شود مانند نیم دوراول تغییرمی‌کند با این‌تفاوت که جهت جریان درسیم پیچ معکوس می‌شود علت معکوس‌شدن جهت جریان درسیم پیچ این است که در نیم دور دوم، سوی حرکت ضلعهای A و B در میان خطوط میدان نسبت به‌نیم دور اول معکوس می‌شود (زیرا A جای B قرارمی‌گیرد و B جای A). در دورهای بعد هم همین تغییرات نیروی محرکه تکرار می‌شود. اگر این نیروی محرکه متناوب، به دو سر یك مقاومت خارجی R اعمال شود از آن جریان متناوبی خواهد گذشت.

برق شهرچنان‌که می‌دانید برق متناوبی‌است که تواتر آن ۵۰ هرتز است. ژنراتورهای تولیدکنندهٔ این برق را آلترناتور نیز می‌گویند. اساس کارآلترناتورها هم برخاصیت القای‌الکترومانیتیکی است ولی ساختمان‌آنها بادیناموی سادهٔ مولدجریان متناوب تفاوت داردوشما درسالهای بعد با ساختمان آنها آشنا خواهید شد. در اینجا توجه شما را به این نکته جلب می‌کنیم که با آن‌که نیروی محرکهٔ مولد برق متناوب بین صفر و بیشترین مقدار خود مرتباً تغییر می‌کند ولی ولت سنج نیروی محرکهٔ ثابتی را نشان می‌دهد که همواره کمتر از بیشترین مقدار نیروی محرکه است. آنچه را که ولت سنج نشان می‌دهد «نیروی‌محرکهٔ مؤثر» مولدنامیده‌اند. وقتی که جریان متناوب از یك مدار یا از یك‌اسباب الکتریکی‌می‌گذرد اختلاف پتانسیل‌میان دو سرمدار یادوسراسباب‌هم که باولت سنج اندازه گرفته می‌شود «اختلاف پتانسیل مؤثر» است.

پرسش ۸-۱۱. آیا آمپرسنج هم در مدارشدت جریان‌ثابتی را نشان می‌دهد؟

پرسش ۸-۱۲. به‌نظرشماآیاولت‌سنج‌یاآمپرسنج باقاب متحرك راکه دربخش ۷ با ساختمان وطرزکار



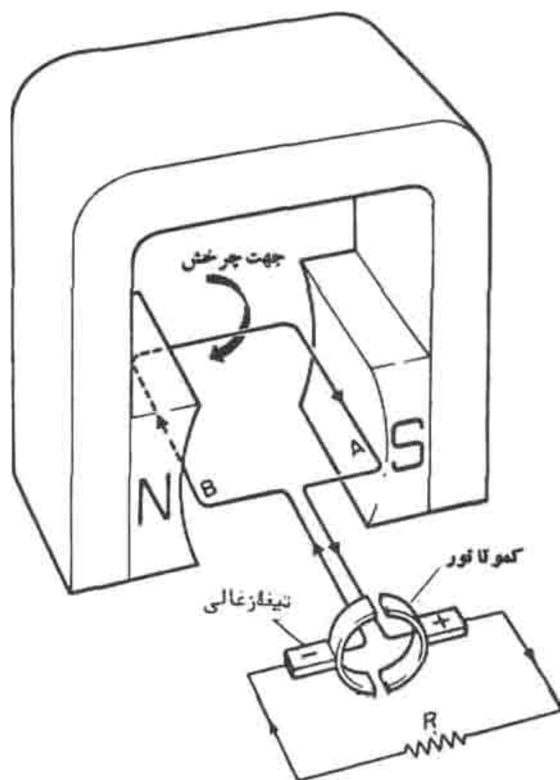
شکل ۸-۱۶ نمودار تغییرات نیروی محرکهٔ القایی دردیناموی مولد جریان متناوب

آنها آشنا شدید می‌توان مستقیماً در اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان برق متناوب به‌کار برد؟

دیناموی ساده برای تولید جریان برق یک‌طرفه

شکل ۸-۱۷ دیناموی ساده‌ای را نشان می‌دهد که به جای جریان متناوب، جریان یک‌طرفه تولید می‌کند یعنی فقط در یک سو به مدار خارج جریان برق می‌فرستد. دراین نوع دینامو به طوری‌که در شکل دیده می‌شود به‌جای دوحلقهٔ جداگانه، دونیم‌حلقه قرارداده شده است که روی هم یک حلقه را تشکیل می‌دهند و دو نیم‌حلقه به وسیلهٔ عایق از یکدیگر جدا شده‌اند. هریک از دو سرسیم‌پیچ قاب به یکی ازاین دونیم‌حلقه وصل‌شده است وتیغه‌های کربن (زغالهای دینامو) مقابل یکدیگر روی نیم‌حلقه‌ها تماس دارند. تیغه‌های کربن طوری قرارداده شده‌اند که درست درلحظه‌ای که سیم‌پیچ ازوضع قائم می‌گذرد تماس هر نیم‌حلقه با هر یک از دو تیغه عوض می‌شود. به‌همین جهت، مجموعهٔ دونیم‌حلقه را کموتاتور[1] یا برگردانندهٔ جریان می‌نامند.

شکل ۸-۱۸ نشان می‌دهدکه چگونه نیروی محرکهٔ حاصل ازاین نوع‌دینامو، درمدتی‌که سیم‌پیچ آن یک دورکامل‌می‌زند، تغییرمی‌کند: اگرمبدأ زمان را مانند حالت پیش لحظه‌ای بگیریم‌که سیم‌پیچ در وضع قائم باشد، درمدتی‌که قاب نیم دور اول‌خود را می‌زند نیروی محرکهٔ القا شده درسیم‌پیچ ابتدا ازصفر به‌بیشترین مقدارخود رسیده‌دوباره



شکل ۸-۱۷- مولد سادهٔ جریان برق یک طرفه (دیناموی سادهٔ مولد برق یک‌طرفه).

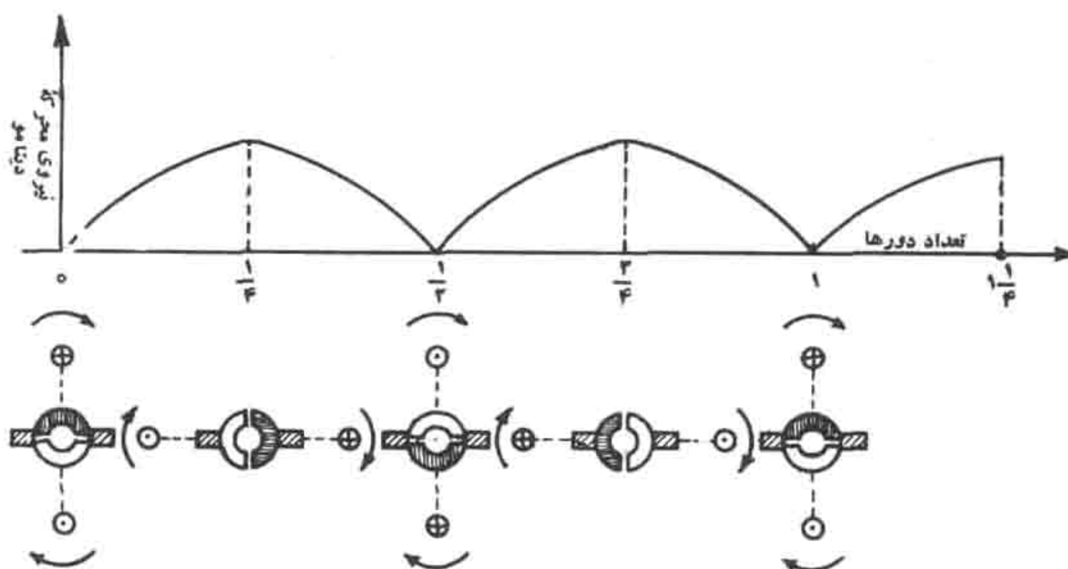
به صفر تنزل می‌کند. درتمام این‌مدت تیغهٔ زغالی که درشکل ۸-۱۷ درسمت راست‌کموتاتور است در حکم قطب مثبت دینامو بوده و جریان از آن به مقاومت خارجی R فرستاده می‌شود وتیغه‌ای‌که در سمت چپ‌کموتاتور است در حکم قطب منفی بوده و جریان را برمی‌گرداند.

درشروع نیم دور دوم یعنی در لحظه‌ای که قاب دوباره از وضع قائم می‌گذرد وضع تماس دو نیم حلقهٔ کموتاتور با تیغه‌های زغالی‌عوض می‌شود

1- Commutator

زیرا جای دونیم حلقه عوض می‌گردد. دراین نیم‌دور، گرچه جهت جریان در خود سیم پیچ نسبت به نیم دور اول معکوس می‌شود ولی به‌علت‌عوض شدن وضعیت تماس نیم‌حلقه‌های کموتاتور باتیغه‌های زغالی، در نیم‌دور دوم هم مانند نیم‌دور اول تیغهٔ زغالی طرف راست مثبت و تیغهٔ زغالی طرف چپ منفی می‌باشد. بنابراین نیروی محرکهٔ دینامو در نیم دور دوم سیم‌پیچ با نیروی محرکهٔ آن در نیم دور اول یکسان است.

پرسش ۸-۱۳-۱ اگر دوزغال یک‌دینامو ساده مولدجریان یک طرفه به دوقطب یک باتری ارتباط داده شود تاجریان الکتریسیته از سیم‌پیچ آن بگذرد آیا سیم‌پیچ درمیدان آهن‌ربای دینامو خواهدچرخید تا دینامو تبدیل به یک موتور شود؟



شکل ۸-۱۸- تغییرات نیروی محرکه در یک دینامو سادهٔ مولد جریان یک طرفه

چگونه می‌توان نیروی محرکهٔ یک دینامو ساده را افزایش داد

گفتیم نیروی‌محرکهٔ القایی‌متناسب باسرعت شار مغناطیسی است. بنابراین هرعاملی که سبب شود در دینامو تعداد خطوط میدان بیشتری در واحد زمان قطع شود نیروی محرکهٔ دینامو را نیز افزایش می‌دهد و این عمل به چند طریق صورت می‌گیرد:

۱- افزودن تعداد دورهای سیم پیچ؛

۲- پیچیدن سیم پیچ روی هستهٔ آهنی تا شار مغناطیسی که از سیم‌پیچ می‌گذرد افزایش یابد ؛

۳- افزودن سرعت چرخش سیم پیچ؛

۴- انتخاب آهن‌ربای قویتر تا حدی که ممکن است.

یکی ازمعایب دینامو ساده این است که در هر نیم‌دور، نیروی محرکهٔ آن به صفرمی‌رسد. در عمل برای برطرف‌کردن این عیب به‌جای‌یک‌سیم‌پیچ، چندین‌سیم پیچ را درون شیارهای استوانه‌ای

ازآهن خالص (به‌نام آرمیچر[1]) می‌پیچند. کموتاتور هم به جای دونیم حلقه به قطعه‌های مسی که بـه وسیلهٔ عایق ازهم جدا می‌شوند تقسیم می گردد به طوری‌که دوسر هرسیم پیچ به یك جفت قطعهٔ‌مسی مربوط به‌خودش لحیم می‌شود. نیروی محرکه‌ای که از این نوع دینامو به‌دست می‌آید تقریباً ثابت است. جریانی‌که این دینامو درمدارخارج می‌فرستد مانند جریانی است که توسط یك بـاتری در مدار فرستاده می‌شود، به‌همین جهت‌آن را جریان مستقیم یا جریان پیوسته گویند.

هنگامی‌که استوانهٔ آهنی (آرمیچر) درمیدان مغناطیسی وسط آهن‌ربا می‌چرخد در خود آن نیز مانند سیم‌پیچ جریان القایی به‌وجود می‌آیدکه سبب گرم شدن آن می‌شود و در واقع جریان مزاحمی است. برای‌کم‌کردن اثر این جریان، استوانه رااز صفحه‌های آهنی که بالعاب ورنی یا اکسید عایق‌پوش شده‌اند می‌سازنـد. بـه این ترتیب مقاومت الکتریکی استوانه دربرابر تولید این‌جریان مزاحم زیاد و درنتیجه شدت این جریان خیلی‌کم می‌شود.

در دیناموها اغلب به‌جای آهن‌رباهای‌دائمی ازآهن‌ربای الکتریکی استفاده می‌شود وجریان لازم برای تشدید میدان مغناطیسی‌حاصل از این آهن‌ربا توسط خود دینامو تأمین می گردد.

ترانسفورماتور

درآزمایش‌فارادی باحلقهٔ آهنی (شکل ۸ـ۷) دیدیم، وقتی شدت جریان درمدار اولیه تغییر می‌کند بنا به خاصیت القای متقابل در مدار ثانویـه جریان القایی به‌وجود می‌آید، اگردرایـن آزمایش به دوسر مدار اولیه جریان متناوبی برقرار سازیم، شار متناوبی‌ازحلقه خواهدگذشت و این شاردرسیم‌پیچ دومی‌جریان متناوبی القا خواهدکردکه نیروی محرکهٔ آن بستگی به نیروی محرکهٔ مدار اولی یا (اختلاف پتانسیل دوسرمدار اولی) و نسبت حلقه‌های دوسیم پیچ دارد، به‌طوری‌که:

$$\frac{\text{تعدادحلقه‌های سیم‌پیچ‌دومی}}{\text{تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ‌اولی}} = \frac{\text{نیروی‌محرکهٔ مداردومی}}{\text{نیروی محرکهٔ مداراولی}} \quad (۸-۹)$$

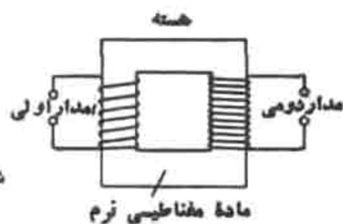
دستگاهی‌که سبب می‌شود جریان متناوب به روشی‌که بیان شد ازیك سیم‌پیچ درسیم‌پیچ دیگری القا شود ترانسفورماتـور نامیده می‌شود. چنانچه تعداد حلقه‌های سیم پیچ مدار دومی بیشتر ازتعداد حلقه‌های سیم‌پیچ مدار اولی باشد نیروی محرکـه (یا اختلاف پتانسیل) درمداردومی بزرگترازنیروی محرکه (یا اختلاف پتانسیل) درمدار اولی است و برعکس اگرتعداد حلقه‌های‌مدار دومی‌کمتر ازمدار اولی باشد نیروی محرکهٔ آن نیزکوچکتر است. در حالت اول تـرانسفورماتور را افزاینده و در حالت دوم ترانسفورماتور را کاهنده گویند.

شکل ۸ـ۱۹ طرح‌ساختمان‌یك‌ترانسفورماتور ساده را نشان می‌دهد که سیم پیچهای دومدار آن در دو بدنهٔ متقابل قابی‌که از ورقـه‌های یك مادهٔ مغناطیسی‌نرم مانند استالوی (آلیاژآهن وسیلیسیم) ساخته شده است پیچیده شده‌اند.

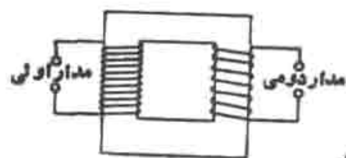
---

[1]- Armature

شکل ۸-۲۰ نیز ساختمان درونی یک ترانسفورماتور کوچک را نشان می‌دهد.



الف ـ ترانسفورماتور افزاینده



ب ـ ترانسفورماتور کاهنده

شکل ۸-۱۹ـ ترانسفورماتور

شکل ۸-۲۰

اتلاف انرژی در ترانسفورماتور و راههای جلوگیری از آنـ ترانسفورماتور را طوری می سازند که اتلاف انرژی درون آن به حداقل ممکن برسد و برای این منظور، درساختمان آن این نکات را رعایت می‌کنند:

۱ـ سیم پیچها را از سیم مسی و با کلفتی حساب شده‌ای انتخاب می‌کنند تا اتلاف انرژی حرارتی (به‌صورت RI^2t) درآنها کم باشد.

۲ـ قاب ترانسفورماتوررا ازورقه‌های عایق‌پوش شده می‌سازند تا از ایجاد جریان درخود قاب جلوگیری شود.

۳ـ جنس‌قاب را ازمادهٔ مغناطیسی نرم‌انتخاب می‌کنند تا انرژی الکتریکی که در اثر تغییر جهت جریان مرتباً صرف معکوس کردن خاصیت مغناطیسی قاب می‌شود به‌کمترین مقدار ممکن برسد.

۴ـ شکل قاب را طوری می‌سازند که تمام شار مغناطیسی حاصل از سیم‌پیچ مدار اولی ، از درون سیم پیچ مدار دومی بگذرد.

اگرنکات بالا درساختمان ترانسفورماتور به خوبی رعایت شود اتلاف انرژی در آن خیلی‌کم است به‌طوری‌که می‌توان گفت:

$$\frac{\text{توان‌خروجی‌ازمداردومی}}{\text{توان‌ورودی‌به‌مداراولی}} = \qquad (۸-۱۰)$$

پرسش ۸-۱۴ـ باتوجه به‌روابط ۸-۸و۹ـ۸ و ۸-۱۰ بگویید ترانسفورماتور افزاینده یا کاهنده چگونه شدت جریان را درمدار دومی تغییر می‌دهد.

برتری جریان متناوب برجریان مستقیم از لحاظ انتقال انرژی الکتریکی

یکی ازمزایای مهم جریان متناوب برجریان مستقیم این‌است‌که ولتاژجریان متناوب را می‌توان به‌آسانی و به ارزانی بدون آن که انرژی قابل توجهی ازدست داده شود به طوردلخواه تغییرداد.

به همین جهت در بیشترمراکز تولید برق، جریان متناوب تولید می‌شود و ولتاژ آن به‌وسیلهٔ ترانسفورماتور بالا برده می‌شود وبدون افت قابل توجهی به مکانهای مصرف که معمولا دور از محل تولید هستند انتقال می‌یابد.

این مسئله به ما امکان می‌دهدکه جریان‌برق را ازمحل تأسیسات هیدروالکتریکی یا از مراکز تولید برق توسط انرژی هسته‌ای، به آسانی و به وسیلهٔ کابلهای فشار قوی به نقاط مصرف منتقل کنیم و با پایین‌آوردن ولتاژآن (تاحد ولتاژمصرف) از آن استفاده نماییم. معمولادرچنین تأسیساتی‌ولتاژ ژنراتورهای مولد برق متناوب از ۱۱۰۰۰ ولت‌تا ۳۳۰۰۰ولت‌است. این‌ولتاژبه‌وسیلهٔ ترانسفورماتور **افزاینده تا ۴۰۰,۰۰۰ ولت (۴۰۰ کیلوولت) ممکن** است بالا برود و درپستهای نزدیك شهرها یا مناطق دیگر، به تدریج به وسیلهٔ ترانسفورماتورکاهنده تا حد ولتاژ مصرف (مثلا ۲۲۰ ولت یا ۱۱۰ ولت) پایین آورده شود و به مصرف برسد. مثال عددی زیرنشان می‌دهدکه درکابل‌فشارقوی، وقتی‌که ولتاژ بالا باشد اتلاف انرژی خیلی‌کم است.

مثال: می‌خواهیم توان ۱۰ کیلووات را به وسیلهٔ‌کابلی‌که مقاومتش ۰/۵ اهم است انتقال‌دهیم اتلاف انرژی را درکابل دردوحالت زیرحساب‌کنید.

الف ـ وقتی که اختلاف پتانسیل ۲۰۰ ولت است.

ب ـ وقتی که اختلاف پتانسیل ۲۰۰,۰۰۰ ولت است.

الف ـ در این حالت شدت جریان در کابل برابر است با:

$$\text{شدت جریان} = \frac{\text{توان}}{\text{اختلاف پتانسیل}} = \frac{۱۰۰۰۰W}{۲۰۰V} = ۵۰A$$

و توان تلف شده در کابل برابر است با:

$$\text{توان تلف‌شده} = I^2R = ۵۰^2 \times ۰/۵ = ۱۲۵۰W = ۱/۲۵\,kW$$

ب ـ در این حالت:

$$\text{شدت جریان در کابل} = \frac{\text{وات}}{\text{ولت}} = \frac{۱۰,۰۰۰}{۲۰۰,۰۰۰} = ۰/۰۵A$$

$$\text{توان تلف‌شده در کابل} = I^2R = ۰/۰۵^2 \times ۰/۵ = ۰/۰۰۱۲۰W$$

بنابراین اگر اختلاف پتانسیل انتقال ۲۰۰ ولت باشد اتلاف انرژی در کابل در هر ثانیه در حدود ۱۰ درصد توان است در صورتی که به ازای اختلاف پتانسیل ۲۰۰,۰۰۰ ولت اتلاف انرژی ناچیز است.

مثال زیر نیز مزیت جریان متناوب را بر جریان پیوسته وقتی که لازم باشد ولتاژ آنها برای مصرف پایین آورده شود نشان می‌دهد.

مثال ـ فرض کنیم که می‌خواهیم یك لامپ ۲۴V و ۱۲W را با استفاده از برق ۲۴۰ V متناوب روشن کنیم برای پایین آوردن اختلاف پتانسیل، باید از یك ترانسفورماتور کاهندهٔ ۱۰ به ۱ استفاده کنیم. شدت جریانی که از لامپ باید بگذرد از رابطهٔ زیر حساب می‌شود.

$$\text{وات} = \text{ولت} \times \text{آمپر}$$

$$\text{شدت جریان} = \frac{\text{وات}}{\text{ولت}} = \frac{۱۲}{۲۴} = ۰/۵A$$

به فرض این که در ترانسفورماتور انرژی تلف نشود داریم:

توان خروجی = توان ورودی

یعنی ۱۲W = شدت جریان در مدار اولیه × ۲۴۰

یا: $\text{شدت جریان در مدار اولیه} = \frac{۱۲}{۲۴۰} = ۰/۰۵A$

شدت جریانی که از انشعاب اصلی گرفته می‌شود

حال ببینیم همین لامپ با جریان ۲۴۰ ولت مستقیم چگونه باید روشن شود؟

در این حالت لازم است یك مقاومت به طور متوالی به لامپ بسته شود تا اختلاف پتانسیل دو سر لامپ را به ۲۴ ولت برساند. این مقاومت به ترتیب زیر حساب می‌شود:

اختلاف پتانسیل دو سر لامپ باید ۲۴ ولت باشد بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت اضافی ۲۴۰ − ۲۴ = ۲۱۶V می‌شود. چون لامپ و مقاومت به طور متوالی به هم بسته می‌شوند از هر دو جریان ۰/۵ آمپر می‌گذرد. بنابراین اندازهٔ مقاومت (طبق رابطهٔ $R = \frac{V}{I}$) برابر است با $\frac{۲۱۶}{۰/۵}$ یا ۴۳۲ اهم.

چون شدت جریان اصلی (هم در مقاومت و هم در لامپ) ۰/۵ آمپر است بنابراین:

$$\text{توان کل گرفته‌شده از منبع} = \text{ولت} \times \text{آمپر} = ۲۴۰ \times ۰/۵ = ۱۲۰\,W$$

از این توان فقط ۲۴ وات در لامپ به مصرف می‌رسد و ۱۰۸ وات بقیه در مقاومتی که به آن به طور متوالی بسته می‌شود به صورت گرما تلف می‌گردد.

خودتان آزمایش کنید

۱) با وسایلی که درآزمایشگاه در اختیار دارید آزمایشهایی را کـه دراین بخش برای ایجاد جریان القایی یا خود القایی بیان شده است انجام دهید.

۲) به‌کمك سیم‌پیچهای ۴۰۰ دور و ۵۰۰ دور و ۶۰۰ دور، و با قاب مخصوص ساختن ترانسفورماتورکه معمولا در آزمایشگاههاوجود دارد، ترانسفورماتور بسازید ومدار اولی آن را به برق شهر وصل‌کنید و با ولتسنج که مخصوص جریـان متناوب و برای ولتهای زیـاد ساخته شده است اختلاف پتانسیل دوسرمدارهای اولی ودومی را اندازه بگیرید و رابطهٔ ۸ ـ۹ که درمتن درس داده شده است تحقیق‌کنید. توجه‌کنید وقتی‌که بـا برق شهرکار می‌کنید تعداد دورهای سیم پیچهای مدار اولی نبایدکمتر ازمیزانی‌که دراین آزمایش گفته شده است باشد زیرا ممکن است سیم پیچ آسیب ببیند.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) اصطلاحات «القای الکترومانیتیکی» و «نیروی محرکهٔ القایی» را تعریف‌کنید.

۲) سه آزمایش بیان‌کنیدکه به‌وسیلهٔ‌آنها بتوان نیروی‌محرکهٔ القایی ایجادکرد وعواملی راکه نیروی محرکهٔ القایی وجهت‌آن بستگی به‌آنها دارد نام ببرید.

۳) یکی از کاربردهای عملی القای الکترومانیتیکی را به اختصار شرح دهید و آن را با رسم شکلی مجسم‌کنید.

۴) قانونهای فارادی ولنز را دربارهٔ القای الکترومانیتیکی بیان کنید.

آزمایشی‌را شرح دهیدکه به‌کمك آن بتوان دریك سیم‌راست وقتی‌که درمیدان‌مغناطیسی حرکت می‌کند جریان القایی به وجودآورد. درچه صورت نیروی محرکهٔ القایی حاصل ماکزیمم و درچه صورت با آن‌که سیم حرکت می‌کند صفراست؟ در واقع شرط ایجاد نیروی محرکهٔ‌القایی در این سیم راست چیست؟

۵) قانونهایی را بیان‌کنیدکه اندازه وجهت جریان حاصل ازالقای الکترومانیتیکی را به دست می‌دهند. آزمایش ساده‌ای‌که یکی ازقوانین را نشان دهد شرح دهید.

۶)ـ از موارد زیر کدامشان مولد جریان القائی هستند؟

الفـ اتصال یك باتری به‌دوسر سیم حلقه‌ای شکلی که رو به‌روی سیم حلقه‌ای شکل دیگری قرار دارد.

ب- قطع اتصال باتری از دو سرسیم حلقه‌ای شکل مثال الف.

پ- حرکت دادن یك آهن‌ربا درون یك حلقه فلزی مسدود.

ت- حرکت دادن حلقه فلزی مسدود در میدان مغناطیسی یکنواخت به موازات خطوط نیروی میدان.

ج- نگاهداشتن حلقه فلزی در میدان آهن‌ربائی یکنواخت.

۷)- در نظر بگیرید که دو آهن‌ربای تیغه‌ای را ازیك سرشان گرفته‌ایم و آنها را در یك ارتفاع از سطح زمین در راستای قائم به‌فاصله نسبتاً دوری ازهم نگاهداشته‌ایم. هرگاه این دو آهن‌ربا را باهم رهاکنیم‌ویکی‌ازآنها بههنگام سقوط از درون مدارحلقه‌ای شکل بسته‌ای بگذرد کدام یك زودتر به‌سطح زمین می‌رسد، چرا؟

۸) یك سیم پیچ دایره شکل مسطح به‌دور یکی ازقطرهایش‌که عمود برخطوط یك میدان مغناطیسی یکنواخت است می‌چرخد. نموداری رسم‌کنیدکه تغییرات نیروی محرکهٔ القا شده در آن را برحسب زاویهٔ بین سیم پیچ وراستای میدان نشان دهد. (اندازهٔ زاویه‌ها را روی محور افقی ببرید). اگرسیم پیچی را که تعداد دورهای بیشتر یا سطح بزرگتری دارد به‌کار برید چه تأثیری درنیروی محرکهٔ القایی تولید شده درآن خواهد داشت؟

۹) با رسم شکل طرزکار یك دینامو‌ی مولد سادهٔ جریان متناوب را شرح دهید، چگونه می‌توان آن را تبدیل به یك دینامو‌ی ساده مولد جریان یك طرفه‌کرد؟

۱۰) وقتی‌که یك ترن (غیرالکتریکی) روی ریلهای خود حرکت می‌کند اختلاف پتانسیل کوچکی بین دوریل به‌وجود می‌آید. علت را توضیح دهید و بحث‌کنید که مقدار و علامت این اختلاف پتانسیل بستگی دارد:

الف - به سرعت حرکت ترن.

ب - به راستای حرکت ترن (نسبت به راستای شمال وجنوب).

ج - به‌این‌که ترن به‌ناظر نزدیك یا از او دور شود.

۱۱) مزیت جریان متناوب برجریان پیوسته به هنگام انتقال این دوجریان از محل تولید به نقاط دورچیست؟ توضیح دهید.

۱۲) می‌خواهیم با استفاده ازیك دینامو‌ی مولد برق متناوب ۲۴۰ ولتی، یك لامپ۱۲ ولتی را روشن‌کنیم. با رسم شکل دو روش را شرح دهیدکه دریکی اتلاف انرژی زیاد و در دیگری اتلاف انرژی هرچه ممکن است‌کم باشد. توضیح دهیدکه در هریك از دوروش انرژی چگونه تلف می‌شود.

۱۳) شکل ساده‌ای از یك ترانسفورماتور رسم کنید و توضیح دهیدکه چگونه قانونهای الکترومانیتیکی در ساختمان و طرزکار آن به‌کار رفته است. چرا قاب وسط سیم پیچها را ورقه

ورقه می‌سازند و ورقه‌ها را عایق‌پوش می‌کنند.

۱۴) نموداری رسم کنید کـه تغییرات اختلاف پتانسیل بین دوسیم اصلی حامل جریـان متناوب را برحسب زمان نشان دهد، چه شباهتها و چه اختلافهایی بین نتایج حاصل از جریان متناوب و جریان مستقیم وجود خواهد داشت اگر هر یك آنها بـه نوبهٔ خود از وسایل زیر بگذرد :

الف ـ ازسیمی که در راستای شمال وجنوب بالای یك عقربهٔ مغناطیسی قراردارد.

ب ـ از ولتامتر محتوی آب اسیدسولفوریك‌دار با الکترودهای پلاتین.

ج ـ از یك سیم با مقاومت الکتریکی زیاد.

د ـ ازمدار اولیهٔ یك ترانسفورماتور.

۱۵)ـ طرح ساده یك دینامو‌ی مولد جریان متناوب و یك دینامو‌ی مولد جریان یك طرفه را بکشید و طرزکار هریك را در چند سطر بنویسید و نمودارتغییرات نیروی محرکه آنها را در یك دور چرخش قاب رسم کنید.

۱۶)ـ چرا باآن‌که اصطکاك کم است، سیم‌پیچ یك دینامودرون‌آهن‌ربابه‌آسانی نمی‌چرخد؟

۱۷)ـ یك ترانسفورماتور را طرح ریزی کنید که ازثانویه آن بتوان چند ولتـاژ مختلف گرفت.

۱۸)ـ چرا از ترانسفورماتور نمی‌توان در جریان پیوسته استفاده کرد؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) برای انتقال جریان الکتریکی به‌توان ۱۰۰ کیلووات، ازسیمهایی به‌مقاومت الکتریکی ۰/۱ اهم استفاده می‌شود در دوحالت زیر اتلاف انرژی را درسیمهای انتقال حساب کنید.

الف ـ اختلاف پتانسیل ۲۴۰ ولت است.

ب ـ اختلاف پتانسیل ۱۰٫۰۰۰ ولت است.

۲ـ سیمی بطول ۱/۵ متر باسرعت ثابت ۲۴ متر برثانیه دریك میدان مغناطیسی به‌شدت 5×10^{-2} تسلا درراستای عمود برخطوط میدان حرکت می‌کند اختلاف پتانسیل القایی دو سر این سیم را حساب کنید.

جواب: ۱/۸ ولت

۳) مدار اولیهٔ یك ترانسفورماتور به برق ۲۴۰ ولت شهر متصل است و هنگامی‌که در مدار ثانوی آن ۱۰ لامپ «۲۴W و ۱۲V» به‌طور موازی بسته می‌شود شدت جریانی کـه این

ترانسفورماتور توسط مدار اولیهٔ خود ازشبکهٔ برق شهر می‌گیرد ۱/۱ آمپراست.

الف ـ بازده ترانسفورماتور (یعنی نسبت توان مصرف شده درمدار ثانویه به توان‌داده شده به مدار اولیه) را حساب‌کنید.

ب ـ قیمت برق مصرف‌شده ازقرارهرکیلووات ساعت۳ ریال‌درصورتی‌که ترانسفورماتور ۱۰ ساعت‌کارکرده باشد. چیست؟

۴) یك ترانسفورماتور افزاینده، ۲۰ ولت مدار اولیه را به ۲۵۰ ولت درمدار ثانویه تبدیل می‌کند. اگر بازده این ترانسفورماتور ۰/۹۰ باشد. مطلوب است شدت جریان در مدار اولیه درصورتی‌که درمدار ثانویه از یك لامپ 100^W، 250^V استفاده شود.

۵) سیم پیچهای مدار اولی و دومی یك ترانسفورماتور به ترتیب دارای ۴۰۰ دور و ۲۰۰۰ دورحلقه سیم مسی می‌باشند. اگر دوسرمدار دومی به‌برق۲۲۰ ولت شهرمتصل شود. اختلاف پتانسیل دوسرمدار اولی چند ولت خواهد شد؟

پاسخ به پرسشهای متن

۸-۱) علت این‌است‌که با قرارگرفتن میلهٔ‌آهنی درون سیم‌پیچ، همهٔ خطوط میدان متوجه آن می‌شوند و در اثر تراکم خطوط میدان درمیلهٔ آهنی، شار مغناطیسی‌کـه از درون سیم پیچ می‌گذرد تغییر می‌کند وجریان القایی به وجود می‌آید.

۸-۲) بلی، تغییر مکان نسبی آهن‌ربا وسیم پیچ سبب تغییرشار مغناطیسی و ایجاد جریان القایی می‌شود.

۸-۳) علت این است‌که در این حالت خطوط میدان به وسیلهٔ سیم قطع نمی‌شوند.

۸-۴) انرژی مکانیکی حاصل از حرکت دادن وضع سیم یا آهن‌ربا نسبت به‌یك دیگر. بدیهی است هرچه سرعت‌حرکت سیم یا شدت میدان مغناطیسی بیشترباشد کارانجام یافته بیشتر و در نتیجـه نیروی محرکه القائی ایجاد شده‌زیادتر است.

۸-۵) اگر اندازه تغییر مکان سیم را در زمان Δt به Δs نمایش دهیم $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ خواهد

بود بنابراین $E = B\frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot l$. از طرف دیگر $\Delta s . l = \Delta A$ برابر تغییر سطح مدار است.

بنابراین
$$E = \frac{B . \Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

۸-۶) از رابطه $i=\frac{E}{R}$ یا $i=\frac{1}{R}\ \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$

۸-۷) درهمان لحظه‌ای که کلید بسته می‌شود.

۸-۸) بلی ولی خیلی کمتر از وقتی که حلقه آهنی است.

۸-۹) در اثرتغییرزاویه α بین راستای **خطوط** نیروی **میدان مغناطیسی وراستای خط** عمود بر سطح قاب. زیرا در رابطه کلی $\varphi=B\ .\ A\cos\alpha$، اندازه‌های B (**شدت میدان**) و A (سطح قاب مستطیل شکل حامل سیم پیچ) ثابت هستند و تنها زاویه α است که در **اثرچرخیدن** قاب تغییر می‌کند.

۸-۱۰) سیم‌پیچ دولا درحکم دوپیچ است که درخلاف جهت هم درآنها جریان تولید شود. این دوجریان اثریکدیگر را خنثی می‌کنند.

۸-۱۱) بلی- شدت جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد شدت مؤثر نام دارد.

۸-۱۲) نه: زیرا جهت جریان متناوب دائماً تغییرمی‌کند. اگراین‌تغییرات خیلی سریع‌باشد اینرسی قاب مانع از این می‌شودکه قاب تغییرات شدت را پیروی‌کند در نتیجه قـاب بی‌حرکت می‌ماند. برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل یا شدت جریان متناوب باید نخست جریان را به وسیلهٔ یك سوکننده‌های ویژه‌ای که در خود ولت سنج یا آمپرسنج نصب می‌شوند یك‌سوکرد و سپس اندازه گرفت.

۸-۱۳) بلی، عبور جریان از سیم‌پیچ واقع درمیدان مغناطیسی سبب می‌شودکه بردوضلع قاب یك جفت نیرو وارد شود وسبب چرخش آن گردد.

۸-۱۴) اگر اختلاف پتانسیل وشدت جریان درمدار اولیه به ترتیب V_1 و I_1 و درمدار ثانویه V_2 و I_2 باشد طبق رابطهٔ (۸-۱۰)داریم:

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{V_2}{V_1}=\frac{\text{تعداد حلقه‌های مداردومی}}{\text{تعداد حلقه‌های مداراولی}}\quad \text{و یا}\quad V_1\,I_1=V_2\,I_2$$

۹

ماهیت ماده-الکترونها

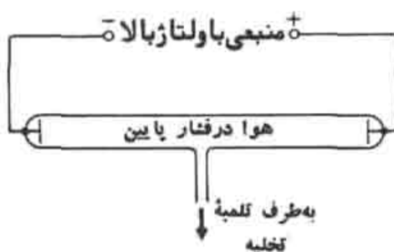
اغلب اتفاق می‌افتد که هنگام قطع کلید برق در جای اتصال کلید جرقه بزند. جرقه، درواقع جریان الکتریسیته است که در زمان خیلی کوتاهی درهوا برقرار می‌شود وبا تولید نورهمراه است. هوای خشك در فشار معمولی دارای مقاومت الکتریکی بسیار زیاد است و به همین جهت برای تولید جرقه میان دونقطه در هوا، اختلاف پتانسیل بسیار زیاد لازم است. مثلا بیش از ده‌هزار ولت اختلاف پتانسیل لازم است تا میان دو الکترود نوك تیز که یك سانتیمتر از هم فاصله دارند درهوا جرقه تولید شود یا به‌عبارت دیگر تخلیهٔ الکتریکی صورت بگیرد. برقی که میان دو ابرباردار یا بین ابروزمین به صورت صاعقه جستن می‌کند در واقع جرقهٔ بسیار بزرگی است که میلیونها ولت اختلاف پتانسیل، سبب تولید آن می‌شود.

عبور الکتریسیته از یك گاز، تخلیهٔ الکتریکی نامیده می‌شود. گرچه درفشار اتمسفر، اختلاف پتانسیل زیادی لازم است تابین دو نقطه در گاز تخلیهٔ الکتریکی صورت بگیرد ولی اگرفشار گازکم باشد اختلاف پتانسیل لازم‌برای عمل تخلیهٔ الکتریکی نیزکم می‌شود.

تخلیهٔ الکتریکی در گازها با پدیده‌های فیزیکی جالبی همراه است و بررسی همین پدیده‌ها منجر به‌کشف الکترون شده است. شما در این بخش با پاره‌ای از این پدیده‌ها آشنا خواهید شد.

پدیده‌های حاصل از تخلیهٔ الکتریکی در لولهٔ محتوی هوا

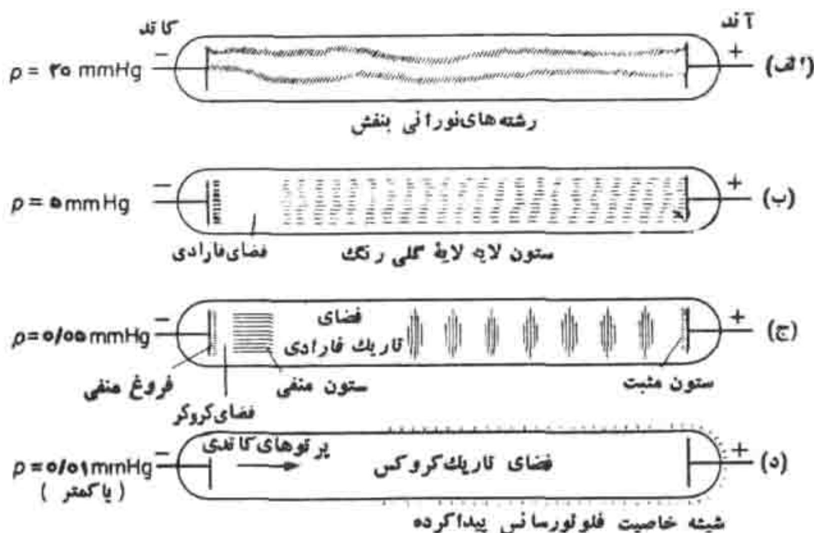
عبور الکتریسیته از هوا درفشارهای مختلف را می‌توان توسط یك لولهٔ شیشه‌ای به طول ۱۵ سانتیمتر یا بیشترکه متصل به پمپ تخلیهٔ هوا بوده و دو الکترود فلزی در دو انتهای آن قرار دارد (شکل ۹-۱) بررسی کرد. برای این منظور باید اختلاف پتانسیل یك طرفه‌ای درحدود ۱۰۰۰ ولت یا بیشتر بین دوالکترود بر قرار شود. شکل ۹-۲ مناظر مختلف‌حاصل‌از تخلیهٔ الکتریکی را درون



شکل ۹-۱ - لولهٔ تخلیهٔ الکتریکی

هوا در فشارهای مختلف نشان می‌دهد: پس از آن که پمپ به‌کار افتاد آثـار نورانی حاصل از تخلیهٔ الکتریکی نخست در الکترودها ظـاهر می‌شود و همین‌که فشارهوای درون لوله به‌حدود ۲۰میلیمتر جیوه رسید (توجه داشته باشید فشار استانداردهوا ۷۶۰ میلیمتر جیوه است) بین دو الکترود یك یـا چند رشتهٔ نورانی موجی شکل به رنگ بنفش‌پدید می‌آید. با ادامهٔ کاهش فشار، این رشته‌ها به تدریج عریض شده و به شکل ستون نورانی لایه لایه‌ای به رنگ گلی درمی‌آید که فاصلهٔ بین دو الکترود را پر می‌کند.

وقتی که فشارهوای درون لوله به ۵میلیمتر جیوه رسید فضای تاریکی در نزدیکی کاتد ظاهر می‌شود کـه آن را فضای تاریك فارادی نـامیده‌اند و ستون نورانی توسط این فضا به دو قسمت تقسیم می‌شود: یك قسمت ستون لایه لایهٔ گلی رنگی به‌نام «ستون مثبت» کـه به آند منتهی می‌شود و قسمت دیگر ستون‌کوتاهی به نام ستون منفی که آبی رنگ بوده و مجاورکاتد تشکیل می‌گردد. به تدریج که فشار هوای درون لوله پایین می‌آیـد طول فضای فارادی وهمچنین طول ستون منفی افزایش می‌یابد ولی ستون مثبت به طرف‌آند رانده می‌شود ولایه‌ها از هم بیشترجدا می‌گردند و کم‌کم فضای تـاریك دیگری به نام «فضای‌تاریك‌کروکس[1]» نزدیك‌کاتـد ظاهر می‌شود.



شکل ۹-۲- تخلیهٔ الکتریکی درون هوا درفشارهای کم

۱- Sir William Crookes (۱۸۳۲-۱۹۱۹ م) فیزیك‌دان وشیمی‌دان انگلیسی که عنصرتالیم را نیزکشف کرده است.

باید دانست که طول فضاهای تاریك فارادی وکروکس فقط به فشار هوای درون لوله بستگی داشته و هیچ ارتباطی با طول لوله ندارند. بنابراین، وقتی که لوله خیلی دراز باشد زیادی طول لوله توسط ستون مثبت اشغال می‌شود.

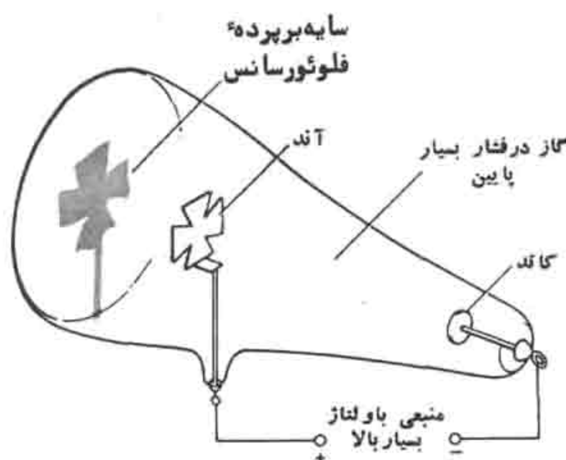
اگر کاهش فشار هوای درون لوله ادامه یابد فضای کروکس نیز به تدریج بزرگ می‌شود. وقتی که فشار به ۰/۰۱ میلیمتر جیوه رسید ستونهای مثبت ومنفی از بین می‌روند وفضای تاریك کروکس تمام لوله را اشغال می‌کند. در این حالت جدار شیشه‌ای لوله به رنگ سبز در می‌آید و می گویند شیشه خاصیت فلوئورسانس[1] پیداکرده است.

عمل تخلیهٔ الکتریکی در گازهای دیگر نیز مانند هوا صورت می گیرد فقط رنگ نورحاصل از آنها متفاوت است و بستگی به جنس گاز و نوع موادی داردکه درساختن لولهٔ شیشه‌ای به‌کاررفته‌اند. مثلا لولهٔ شیشه‌ای معمولی محتوی گاز نئون به رنگ قرمز مایل به نارنجی و لولهٔ شیشه‌ای اورانیم‌دارمحتوی‌بخارجیوه به‌رنگ سبز درمی‌آید. چراغهای لوله‌ای شکل رنگین که درنوشتن تابلو- های مغازه‌ها و تبلیغات تجارتی به کارمی‌روند از نوع همین لوله‌های تخلیهٔ الکتریکی محتوی گازهای مختلف هستند که فشار گاز درون آنها در حدود پنج میلیمتر جیوه است.

پس از پیدایش فضای تاریك کروکس، این پرسش پیش آمدکه دراین فضا چه چیز وجوددارد؟ برای پیدا کردن پاسخ این پرسش؛ در اواخر قرن نوزدهم میلادی تحقیقات زیادی توسط دانشمندان انجام گرفت. لوله‌های تخلیهٔ مختلفی ساخته شدکه در آنها فضای کروکس تمام فاصلهٔ بین الکترودها را اشغال می‌کرد وقطعات کوچکی ازبعضی ازمواد معدنی در این لوله‌ها قرارداده شد ومشاهده شدکه این مواد خاصیت فلوئورسانس پیدا می‌کنند و با رنگهای خاصی می‌درخشند. نمونه‌ای ازاین‌خاصیت را در خود شیشه‌که به رنگ سبز درمی‌آید در بالا بیان‌کردیم.

در سال ۱۸۵۹ میلادی ژولیوس پلوکر[2] ریاضیدان و فیزیکدان‌آلمانی لولهٔ مخصوصی‌طرح- ریزی‌کردکه آند آن از جنس آلومینیم و به شکل صلیب ساخته شده بود (شکل ۹-۳).

نشار هوای درون این لوله ۰/۰۱ میلیمتر



شکل ۹-۳-پرتوهای‌کاتدیك به خط راست منتشر می‌شوند

۱- Fluorescence ، این‌نامگذاری به‌این‌جهت است‌که محلول مادهٔ شیمیایی به‌نام فلوئورسئین وقتی درمعرض تابش نور قرارگیرد خود به‌خود نورانی می‌شود و به رنگ سبززیبایی درمی‌آید.

۲- Julius Plücker (۱۸۰۱-۱۸۶۸ م) استاد دانشگاه بن

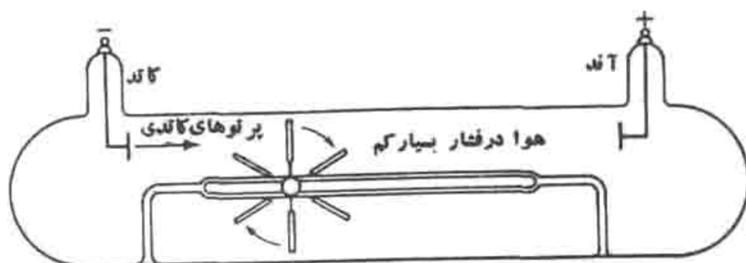
جیوه بود و فضای کروکس همه جای درون لوله را فرا می‌گرفت. مشاهده شد که هنگام تخلیهٔ الکتریکی سایهٔ واضحی ازصلیب بر‌روی جدار انتهایی لوله تشکیل‌می‌گردد. تشکیل چنین‌سایه‌ای نشان می‌داد که پرتوهایی نامرئی از کاتد به‌خط راست منتشر می‌شوند که از صلیب آلومینیمی نمی‌توانند بگذرند، به همین جهت، سایهٔ آن روی جدارمقابل تشکیل می‌شود.

با مشاهدهٔ این پدیده‌ها در آن زمان پرسش دیگری مطرح شدکه: جنس این پرتوها ازچیست؟ عده‌ای ازدانشمندان این پرتوها را از جنس امواج نورانی دانستند، ولی بیشتر جوابها در این زمینه بود که این پرتوها جریانی از ذرات بسیار ریز هستندکه از کاتدکنده شده با سرعت زیاد پرتاب می‌شوند ولی نمی‌توانند از مواد جامد بگذرند. امروزه ما این پرتوها را به نام پرتوهای کاتدیك می‌شناسیم.

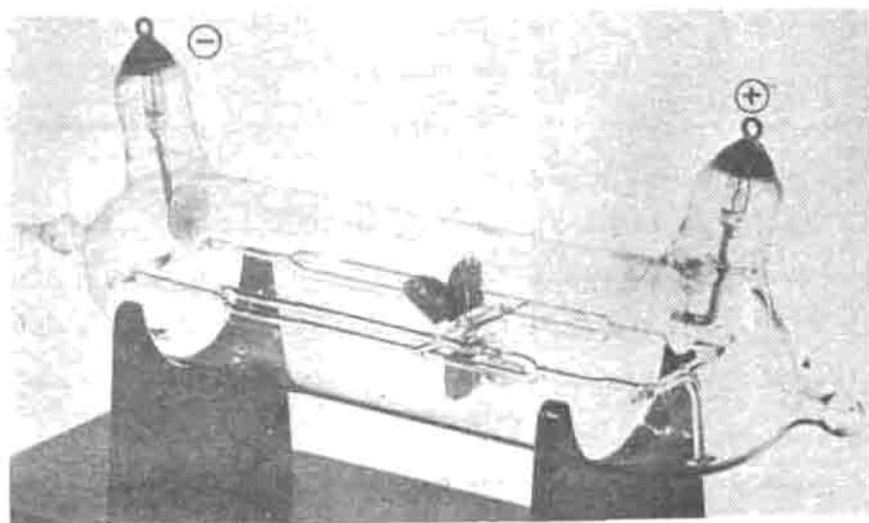
جنس پرتوهای کاتدیك

در سالهای‌آخرقرن نوزدهم ضمن آزمایشهای متعددی معلوم شدکه پرتوهای‌کاتدیك جریانی از «ذرات الکتریسیته منفی» هستند که ما اکنون آنها را الکترون می‌نامیم. اینك به شرح چند نمونه از این آزمایشها که منجر به شناسایی الکترونهاشدند می‌پردازیم.

۱- پرتوهای کاتدیك حامل‌انرژی هستند. درشکل ۹-۴ یك‌لولهٔ‌کروکس نمایش‌داده شده است‌که درون آن، روی دو ریل موازی، یك چرخ پره‌دار سبك‌که پره‌های آن از جنس میکاست قرار داده شده است. الکترودها طوری درلوله نصب شده‌اندکه پرتوهای کاتدیك فقط به پره‌های بالای محور چرخ برخورد می‌کنند. هنگامی‌که در لوله عمل تخلیهٔ الکتریکی صورت می‌گیرد، چرخ پره‌دار می‌چرخد و به‌طرف آند می‌رود. ظاهراً به نظرمی‌رسدکه پره‌های چرخ در اثر برخورد پرتوهای کاتدیك به عقب رانده می‌شوند. ولی در واقع تابش مستقیم این پرتوها سبب حرکت چرخ نمی‌شود بلکه چرخ در اثر یك پدیدهٔ ثانوی می‌چرخد به‌این‌معنی‌که وقتی‌پرتوهای کاتدیك به پره‌های چرخ برخورد می‌کنند انرژی آنها به انرژی گرمایی‌تبدیل می‌شود، درنتیجه‌دمای سطح پره‌ها بالا می‌رود، مولکولهای گاز درون‌لوله وقتی‌که با سطح گرم پره‌های چرخ تماس پیدا می‌کنندگرم می‌شوند و با سرعت بیشتری به عقب برمی‌گردندونیروی‌عکس‌العمل‌حاصل‌ازاین‌برگشت، سبب چرخیدن چرخ می‌شود. شکل ۹-۵ تصویر



شکل ۹-۴- چرخ پره‌دار درون لولهٔ‌کروکس



شکل ۹-۵

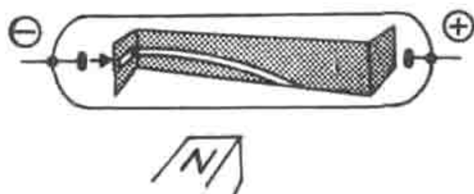
واقعی از این اسباب را نشان می‌دهد.

پرسش ۹-۱- آیا می‌توانید براساس قانون «دوم نیوتن» این پدیده را توجیه کنید؟

پرسش ۹-۲- اگر پرتوهای شعلهٔ کاتدیک ازجنس **الکترون** هستند پس چرا الکترونها نمی‌توانند دراثر ضربهٔ مستقیم چرخ را به حرکت درآورند؟

پرسش ۹-۳- آیا با این آزمایش می‌توان مطمئن شد که پرتوهای کاتدیک از ذرات ریز تشکیل یافته‌اند؟

۲- انحراف پرتوهای کاتدیک درمیدان مغناطیسی- گفتیم که مسیر پرتوهای کاتدیک در لولهٔ کروکس معمولی دیده نمی‌شود تا بتوان انحراف این پرتوها را به راحتی درمیدان مغناطیسی دید، به همین جهت، برای مشخص کردن مسیر آنها، یك صفحه که با لایهٔ نازکی ازسولفید روی پوشیده شده است (طبق شکل ۹-۶) بین آندو کاتد طوری قرارداده می‌شود که باخط واصل میان آندو کاتد زاویهٔ کوچکی بسازد. پرتوهای کاتدیک پس از خروج ازکاتد از یك شکاف افقی می گذرند و به صورت دسته پرتو موازی درمی‌آیند که مسیرشان برروی این صفحه کاملاً مشخص است، زیرا، سولفید روی در مسیر دسته پرتوهای کاتدیک خاصیت فلوئورسانس پیدا می‌کند و به رنگ سبز درمی‌آید. حال اگر تیغهٔ آهن‌ربایی درراستای عمود برلوله به‌آن نزدیك شود دسته پرتو کاتدیک ازمسیر افقی اولیه خود منحرف می‌شود. مثلاً اگر قطب N آهن‌ربا به شیشه نزدیك شود دسته پرتو کاتدیک، مطابق‌شکل،رو به‌پایین منحرف می گردد.



شکل ۹-۶- پرتوهای کاتدیک در میدان مغناطیسی منحرف می‌شوند

این آزمایش‌دلیل قانع‌کننده‌ای برای ردکردن

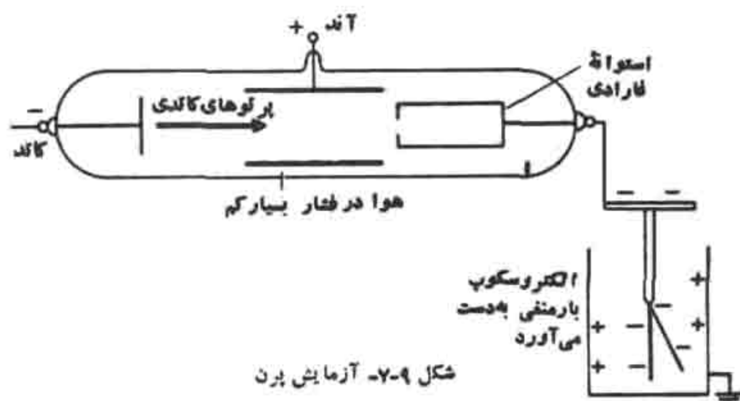
نظرکسانی بودکه پرتوهای کاتدیك را از جنس نور می‌پنداشتند زیرا تا به امروز کسی نتوانسته است نور را در میدان مغناطیسی ازمسیر خود منحرف کند.

پرسش ۹-۴ - اگرجهت‌جریان‌رادرون‌لوله، طبق قرارداد (برخلاف جهت حرکت الکترونها) از آند به کاتد بگیرید چگونه با دستور دست چپ فلمینگ، جهت انحراف پرتوهای کاتدیك را مشخص می‌کنید؟

پرسش ۹-۵ - اگرقطبS آهن‌ربا رابه‌لولهٔ کروکس نزدیك کنید پرتوها چگونه منحرف می - شوند؟

۳- پرتوهای کاتدیك حامل بارالکتریکی هستند - ژان پِرّن[1] استاد دانشگاه پاریس با تغییری که در ساختمان لولهٔ کروکس داد توانست نشان دهد که پرتوهای کاتدیك حامل بارالکتریکی منفی‌هستند. در این لوله، آند نیز یك لولهٔ آلومینیمی است که هردو سرآن باز است ودرمقابل آن استوانهٔ فلزی به نام استوانهٔ فارادی قراردارد که در دهانهٔ آن سوراخ کوچکی است. این‌استوانه به الکتروسکوپی در بیرون لولهٔ کروکس متصل است (مطابق شکل ۹-۷) . **با پرتوهای کاتدیك پس از خروج از کاتد وارد استوانهٔ فارادی می گردند والکتروسکوپ باردارمی‌شود وبا امتحان الکتروسکوپ باردارشده توسط یك میلهٔ ابونیت باردار، معلوم می‌شودکه الکتروسکوپ دارای بارمنفی است .**

بین‌سالهای ۱۸۹۵و۱۹۰۰میلادی، تامسون[2] پس از یك رشته آزمایش، نسبت بین بارالکتریکی e وجرم m (یعنی $\frac{e}{m}$) الکترونها (یعنی ذرات‌بار- داری‌که پرتوهای کاتدیك را تشکیل می‌دهند) و همچنین سرعت حرکت آنها را بین دوالکترودمعین کرد. سپس‌درسال۱۹۰۹ میلادی میلیکان[3] فیزیك‌دان امریکایی با آزمایشهای دقیق خود بارالکتریکی e را حساب‌کرد و در نتیجه جرم الکترون نیز معین



شکل ۹-۷- آزمایش پرن

۱- Jean Perrin (۱۸۴۴-۱۹۲۱ م) فیزیك‌دان فرانسوی.
۲- J. J. Thomson (۱۸۵۶-۱۹۴۰م)فیزیك‌دان انگلیسی.
۳- Robert Millikan (۱۸۶۸-۱۹۵۳ م)

شد. طبق اندازه‌گیریهای جدید، بار الکتریکی الکترون $e = 1/602 \times 10^{-19}$ کولن و جرم آن $m = 9/1 \times 10^{-31}$ کیلوگرم تعیین شده است.

کشف پرتوهای X

در سال ۱۸۹۵ میلادی ویلهلم رونتگن[1] فیزیکدان آلمانی متوجه این نکته شدکه بلورهای مادهٔ پلاتینوسیانید باریم در مجاورت لولهٔ مولد پرتوهای کاتدیك، هنگامی که لوله کار می‌کند، اگر روی لوله هم پوشیده باشد خاصیت فلوئورسانس پیدا می‌کنند و می‌درخشند. رونتگن همچنین مشاهده کرد که صفحه‌های عکاسی لفافه‌دار نیز در مجاورت لولهٔ مولد پرتوهای کاتدیک، به هنگام کار، متأثر شده و تیره می‌گردند. چنین به نظر می‌رسید که پرتوهایی نامرئی، برخلاف پرتوهای کاتدیك، مستقیماً از لوله خارج شده و از موادی که در برابر نور معمولی کدر هستند نیزمی‌گذرند، رونتگن متوجه‌شد که این پرتوها ازآن قسمت از جدار شیشه‌ای لوله که درمعرض تابش پرتوهای کاتدیك قرارگرفته و خاصیت فلوئورسانس پیدا می‌کند تولید می‌شوند و آنها را **پرتوهای X** نامید. پرتوهای X را به‌افتخار کاشف آن **پرتوهای رونتگن** نیزمی‌نامند.

پرسش ۹-۶- درلامپ تصویر تلویزیون نیز پرتوهای کاتدیك از یك کاتد ملتهب تولید شده و برصفحهٔ شیشه‌ای که تصویرروی آن تشکیل‌می‌شود می‌تابند. آیا به‌نظر شما از این صفحه «پرتوهای X» نیز تولید می‌شود؟

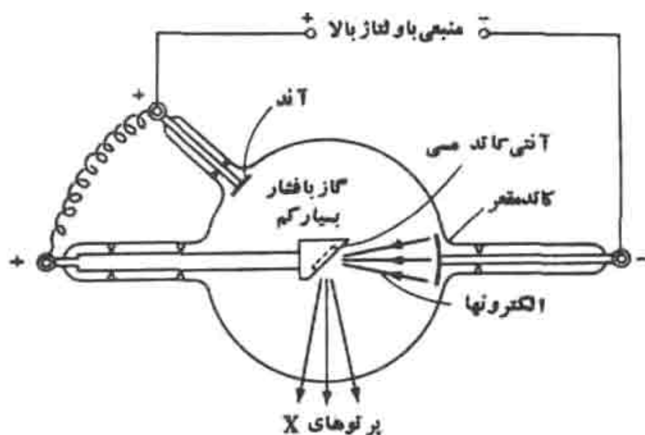
رونتگن متوجه شدکه اگر یك صفحهٔ مقوای آغشته به پلاتینوسیانید باریم در مسیر تابش این پرتوها قرارگیرد نورانی می‌شود. او دست خودرا بین لولهٔ مولد «پرتو X» و صفحهٔ نامبرده قرارداد ومشاهده‌کردکه سایهٔ واضحی از استخوانهای دست برروی صفحه تشکیل می‌شود. **علت تشکیل چنین سایه‌ای این‌است‌که استخوانها درمقابل عبورپرتو-های X کدرتر ازگوشت هستند.**

ضمن بررسی‌خواص «پرتوهای X» معلوم شد که این پرتوها برخلاف پرتوهای‌کاتدیك در میدان مغناطیسی یا الکتریکی منحرف‌نمی‌شوند، بنابراین ازجنس ذرات باردار نیستند. امروزه ما می‌دانیم‌که «پرتوهای X» از جنس نور هستند با این تفاوت‌که طول موج آنها خیلی‌کوتاهتر ازطول موج نورمرئی است.

تولید پرتوهای X - پس از کشف پرتوهای X، تحقیقات بعدی‌که دربارهٔ طرزتولید آنها به عمل آمد نشان داد که هرگاه الکترونهای خیلی سریع ضمن حرکت به هدفی برخورد کرده و متوقف شوند «پرتوهای X» تولید می‌شود. براساس این پدیده نخستین‌لوله‌های‌مولد «پرتوX» ساخته‌شد. لوله‌های قدیمی مولد «پرتو X» درواقع همان لوله‌های‌مولد پرتوهای‌کاتدیك هستندکه درآنهاتغییراتی داده شده است و می‌توان آنها را لوله‌های مولد «پرتو X» با کاتد سرد نامید. در این لوله‌ها پرتوهای کاتدیك (یعنی الکترونها) ازکاتدی‌که سطح آن مقعراست‌بر روی قرصی از جنس تنگستن[2] به نام آنتی کاتد می‌تابند (شکل ۹-۸) و دراثر برخورد الکترونها

1- Wilhelm Conrad Röntgen (۱۸۴۵-۱۹۲۳ م).

2- Tungsten

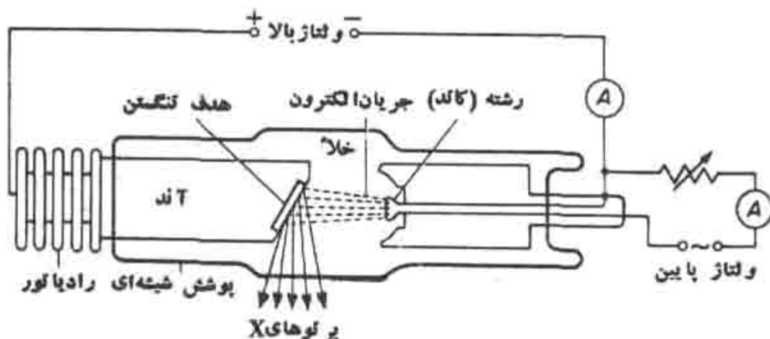


شکل ۹-۸- لولهٔ مولد پرتو X باکاتد سرد

به این قرص «پرتوهای X» تولید می‌شوند. قرص آنتی کاتد درانتهای یك میلهٔ مسی نصب شده است ومیلهٔ مسی به این منظور به‌کار می‌رود تا گرمایی را که در اثر برخورد الکترونها به سطح آنتی کاتد تولید می‌شود به خارج لوله انتقال دهد.

پرسش ۹- ۷ ـ قرص آنتی کاتد را طوری نصب می‌کنند که طبق شکل ۹-۸، با مسیر پرتوهای کاتدیك، زاویه‌ای بسازد. آیا می‌توانید علت را توضیح دهید؟

لوله‌های جدید مولد پرتو Xـ دراین لوله‌ها که به خوبی از هوا تخلیه می‌شوند الکترونها (پرتوهای کاتدیك) از یك رشته سیم تنگستن که در اثر عبور جریان برق ملتهب می‌شود خارج می‌گردند[1]. رشته سیم توسط استوانهٔ فلزی کوتاهی احاطه شده است (شکل ۹- ۹) وکار استوانهٔ فلزی



شکل ۹ـ ۹ ـ لولهٔ جدید مولدپرتو X با کاتدملتهب

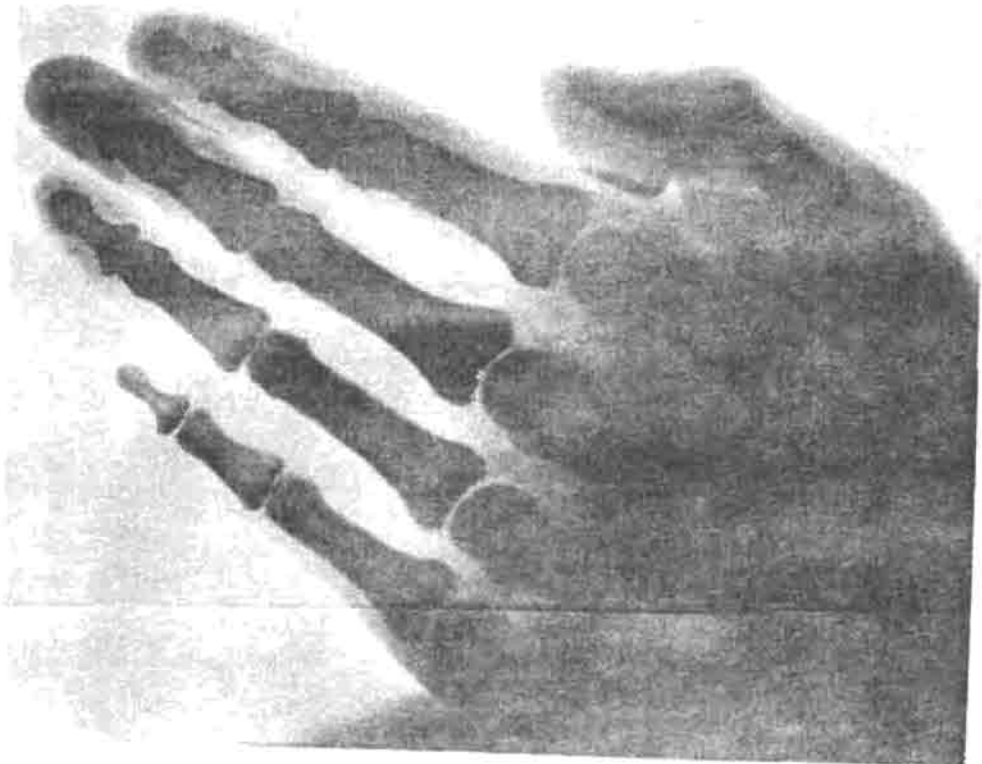
۱ـ پدیدهٔ خروج الکترون ازیك جسم ملتهب را پدیدهٔ ترمویونیك می‌نامند و چون این پدیده نخستین‌بار توسط ادیسون، دانشمند ومخترع امریکایی، کشف شدآن را «اثرادیسون» نیز نامیده‌اند. این اثررا درهمین بخش خواهید دید.

این است که مانند یك آینهٔ مقعر، پرتوهای کاتدیك را روی آنتی کاتد متمرکز کند. الکترونهایی که از رشتهٔ ملتهب خارج می‌شوند دراثر اختلاف‌پتانسیل خیلی‌زیادی که بین کاتدوآنتی کاتد برقرار استسرعت می گیرند وهرچه این اختلاف پتانسیل زیادتر باشد سرعت الکترونها بیشتر می‌شود و در نتیجه، طول موج «پرتوهای X» حاصل کوتاهتر و قدرت نفوذ آنها در اجسام افزونترمی گردد.

«پرتوهای X» را به دو دسته نرم و سخت تقسیم کرده‌اند «پرتوهای X نرم» فقط در مواد نرم مانند گوشت نفوذ می‌کنند. این دسته پرتوها طول موج بلندتری دارند وباولتاژکمتری (مثلا درحدود ۱۵،۰۰۰ولت) تولیدمی‌شوند. «پرتوهای Xسخت» قدرت نفوذ بیشتری دارند وازمواد جامد هم می‌گذرند. این پرتوها دارای طول موج خیلی‌کوتاه هستند. و با ولتاژ خیلی زیاد (حتی چند میلیون ولت) تولید می گردند.

شدت «پرتوهای X» متناسب با تعداد الکترونهایی است که در واحد زمان به آنتی کاتد می‌تابد و این خود بستگی به دمای رشته سیم ملتهب و درنتیجه بستگی به شدت جریانی داردکه از این رشته می گذرد. بنابراین به‌کمك یك رئوستا قابل تنظیم و کنترل است.

موارد کاربرد «پرتوهای X» ـ از «پرتوهای X» هم در پزشکی و هم درصنعت، زیاد استفاده می‌

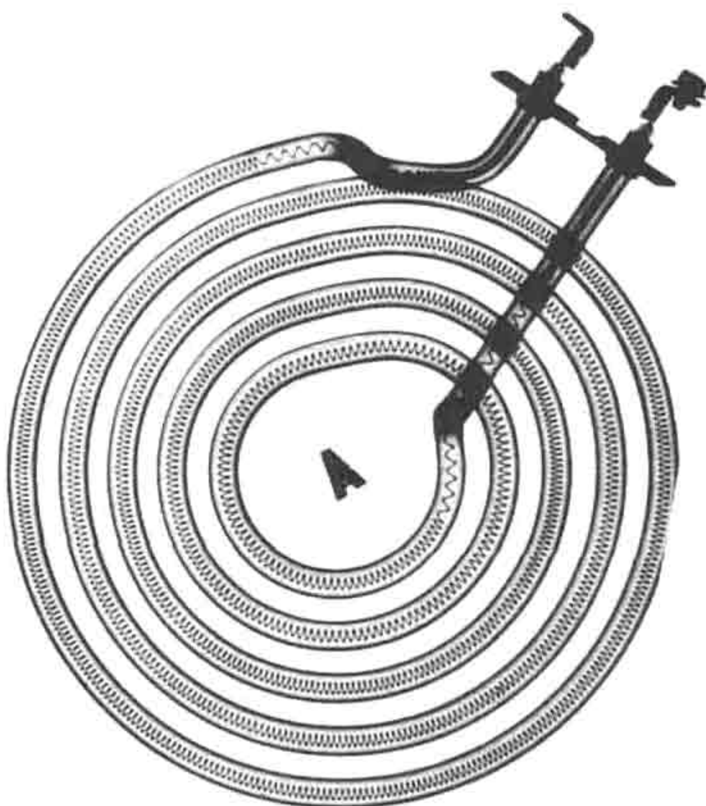


شکل ۹-۱۵ـ عکسی که به وسیلهٔ پرتوهای X درسال ۱۸۹۶ میلادی گرفته شده است.

شود. در پزشکی عملی از پرتوهای X برای عکسبرداری ازاعضای درونی بدن استفاده می‌شود. عکسبرداری با این پرتوها را «پرتو نگاری» می‌گویند. دردستگاههای پرتونگاری پرتوهای X را از آن قسمت بدن که مورد نظر است می‌گذرانند و سپس بر روی فیلم عکاسی می‌تابانند. شکل ۹-۱۰ عکس استخوانهای دست راکه به‌وسیلهٔ پرتونگاری به دست آمده است نشان می‌دهد.

در بیمارستانها «پرتوهای X» را برای معالجهٔ غده‌های سرطانی و جلوگیری از پیشرفت آنها به کار می‌برند، زیرا، سلولهای سرطانی در اثرتابش «پرتوهای X» از بین می‌روند. این پرتوها برروی سلولهای سالم نیز اثرهای بدی دارند و این اثرها ممکن است بعد از گذشت چند سال ظاهرشوند. پیش‌ازآن‌که اثرهای نامطلوب پرتوهای X شناخته شود تعدادی ازکسانی‌که با این پرتوها کارکرده‌اند به سختی مریض شده‌اند وعده‌ای هم جان خود را از دست داده‌اند. امروزه برای جلوگیری از چنین خطری لوله‌های مولد «پرتو X» را در محفظه‌های سربی قرار می‌دهند تا از پخش شدن این پرتوها به اطراف جلوگیری شود. زیرا سرب این پرتوها را جذب می‌کند.

در صنعت از «پرتوهای X» برای تشخیص شکافهای ریزی‌که ممکن است احتمالا درون قطعات



شکل ۹-۱۱- عکس سیم پیچ درون یك آب گرم‌کن الکتریکی که با «پرتوهای X» گرفته شده است.

فلزی ساخته شده برای ماشینها یا درمحل جوش قطعات به یکدیگر موجود باشد استفاده می‌شود.

شکل (۹-۱۱) عکس سیم پیچ درون یك‌آب گرم‌کن الکتریکی رانشان می‌دهدکه با پرتوهایX گرفته شده است. درشکل دیده می‌شودکه سیم پیچ به طوریکنواخت پیچیده شده‌است ودرآن ضایعه‌ای دیده نمی‌شود. این نوع کنترل برای آن است که از بی‌عیب بودن اسباب اطمینان حاصل شود، زیرا یك عیب یا یك ضایعهٔ موضعی دراسباب ممکن‌است سبب بالا رفتن دما درمحل ضایعه وذوب شدن سیم وقطع مدار شود.

بیشتر ابزارهای الکتریکی، پس از ساخته شدن، درقسمت بازرسی کارخانه بدین طریق مورد آزمایش نهایی قرار می گیرند تا از بروز هرگونه پیشامد وزیان احتمالی جلوگیری شود.

پرتوهای X را می‌توان برای تشخیص تغییراتی که درکارهای هنری مانند تابلوهای نقاشی به عمل آمده است نیز به‌کاربرد. موفقیت در این فن براساس این خاصیت است‌که رنگهای نقاشی قدیمی که در آنها ترکیبات سربی به کار رفته است بیشتر ازرنگهایی که از ترکیبات عناصر سبك‌تشکیل یافته‌اند پرتوهای X راجذب می‌نمایند. شکل ۹-۱۲ عکس جالبی از یك تابلوی نقاشی قدیمی را نشان می‌دهدکه به وسیلهٔ «پرتونگاری» به‌دست‌آمده‌است. این عکس نشان می‌دهد که در قسمت سر تصویر تغییراتی داده شده است.



شکل ۹-۱۲- پرتونگاری با پرتوهای X از یك اثر هنری این عکس نشان می‌دهدکه درقسمت سر تابلوی نقاشی تغییراتی داده شده است.

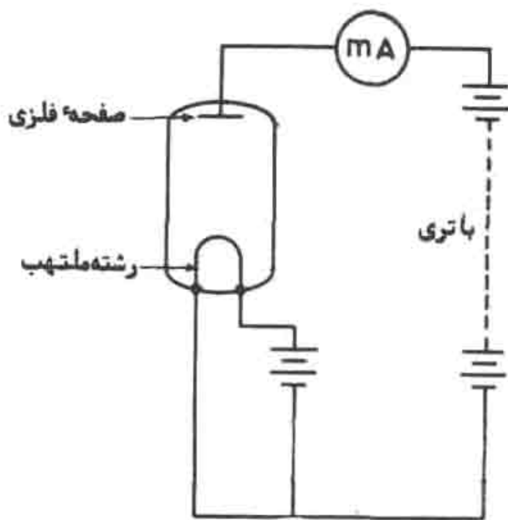
اثر ادیسون ـ پدیدهٔ ترمویونیك

در سال ۱۸۸۳ میلادی، توماس ادیسون دانشمند ومخترع امریکایی به هنگام آزمایش با یك لامپ الکتریکی که در مقابل رشتهٔ ملتهب آن یك صفحهٔ کوچك فلزی قرارداده بود (شکل ۹-۱۳) متوجه شدکه اگربین صفحه ورشته توسط یك‌باتری اختلاف پتانسیلی برقرار شود به طوری‌که پتانسیل صفحه نسبت به رشته مثبت باشد میلی‌آمپرسنجی که به دنبال باتری درمدار قرار دارد جریان ضعیفی را نشان می‌دهد برعکس اگر پتانسیل صفحه نسبت به رشته منفی باشد میلی‌آمپر سنج عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

این پدیده‌که درآن زمان اثر ادیسون نامیده شد چندین سال حس کنجکاوی دانشمندان را دربارهٔ کشف علت آن برانگیخت تا این که در اوایل قرن

بیستم میلادی ریچاردسون[1] کـه استاد فیزیك یکی از دانشگاههای امریکا بود دربارهٔ انتشار الکترون ازاجسام داغ شروع به تحقیق کرد و اثر ادیسون‌را چنین توجیه نمود:

وقتی رشتهٔ فلزی درون لامپ ملتهب می‌شود الکترونهـا از آن خارج می‌گردنـد، همچنان کـه، مولکولهـای بخـار از مایع داغ خـارج می‌شونـد. بنابراین در زمان بسیار کوتاهی اطراف رشتهٔ ملتهب توسط الکترونها اشغال می‌شود و لحظه‌ای فرا می‌رسدکه فضای اطراف رشته از الکترونهای آزاد اشباع می‌شود به این معنی که تعداد الکترونهایی که ازرشتهٔ ملتهب خارج می‌شوندباتعداد الکترونهایی که دوباره به‌آن برمی‌گردند برابر می‌شود.



شکل ۹-۱۳-طرح ساده‌ای برای نمایش اثرادیسون

همین پدیده درون لامپ ادیسون نیز اتفاق می‌افتد: وقتی کـه صفحهٔ مقابل رشتهٔ ملتهب بـه پتانسیل مثبت وصل می‌شود الکترونها را کـه بار منفی دارند به سوی خود می‌کشد و در مدارصفحه جریان برقرار می‌گردد و اگر این صفحه به قطب منفی باتری متصل شود به طوری‌کـه پتانسیل آن منفی گردد الکترونها از آن رانده می‌شوند وجریان الکتریسیته درمدار صفحه قطع می‌شود.

پدیدهٔ خروج الکترون‌ازیك سیم فلزی ملتهب، یا به طورکلی از یك جسم داغ را انتشار ترمویونیك نامیده‌اند و هر چه دمای سیم یا جسم بیشتر بـاشد تعداد الکترونهایی کـه در زمان معین از آن خارج می‌شوند بیشتر است

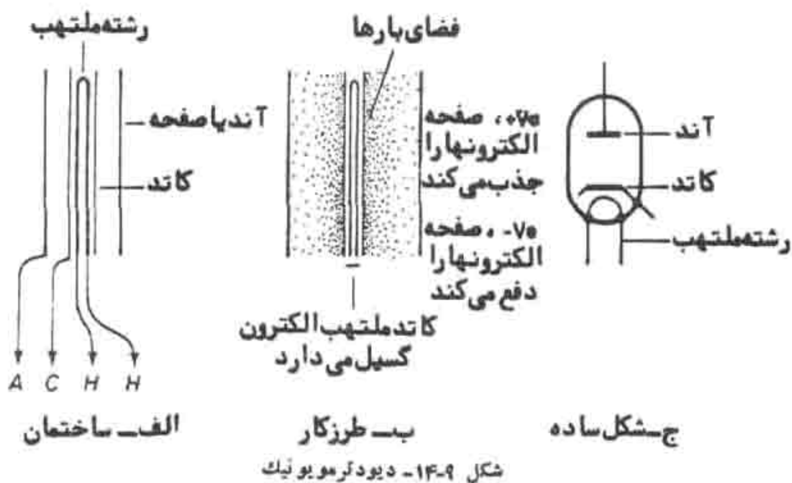
لامپ دوقطبی - درسال ۱۹۰۴ میلادی‌فلمینگ[2] پدیدهٔ انتشار ترمویونیك را در یك لامپ دوقطبی به‌نام دیود[3] که به‌صورت لامپ آشکارساز دررادیو وتلویزیون به‌کار می‌رودعملاًمورداستفاده قرارداد. در این دیود، رشتهٔ ملتهب یا کاتد داغ توسط آند استوانه‌ای شکلی احاطه شده بود و این مجموعـه درون یك حباب شیشه‌ای خالی ازهوا قرارداشت.

بعدها برای افـزایش میزان انتشار الکترون از رشته، در ساختمان آن از اکسید تـوریم استفاده شد. در دیودهای جدید، کاتد ازیك استوانـهٔ نیکلی ساخته می‌شودکه روی‌آن بالایه‌ای از مخلوط‌اکسید باریم و اکسیداسترنسیم پوشیده شده است. این کاتـد توسط یك رشتهٔ مستقل بـه طورغیر مستقیم گـرم

۱- O. W. Richardson استاد فیزیك دردانشگاه Princeton امریکا.

۲- J. A. Fleming

۳- Diode



شکل ۹-۱۴ـ دیود ترمویونیک

می‌شود. آند این نوع دیودها استوانهٔ نیکلی است که اطراف کاتد را فرا می‌گیرد وتمام این اجزادرون حباب شیشه‌ای خالی از هوا قراردارد و ارتباط این اجزا با خارج توسط چهارپایهٔ سوزنی شکل صورت می‌گیرد (شکل ۹-۱۴)

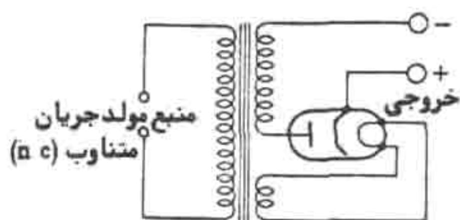
استفاده از لامپ دو قطبی برای یك سو کردن جریان متناوب ـ یکی ازموارد مهم کاربرد لامپ دوقطبی، یك سوکردن جریان متناوب است. این کار با استفاده از مداری مطابق شکل ۹-۱۵ صورت می‌گیرد.

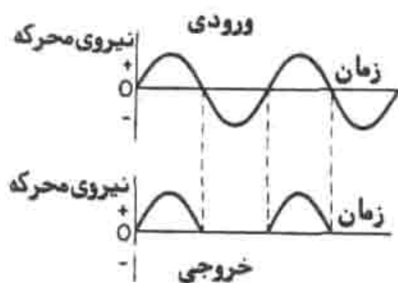
آند لامپ، مطابق شکل، به‌یك سرمدارثانویه ترانسفورماتوری که دوسرمدار اولیهٔ آن به‌جریان برق متناوب متصل است وصل می‌شود. این ترانسفورماتوربرحسب ولتاژمورد نیاز، ممکن‌است افزاینده یا کاهنده باشد. جریان یك سو شده از سر دیگرمدارثانویه وسیم متصل به‌کاتد گرفته می‌شود.

برای گرم کردن رشته از یك سیم پیچ فرعی ترانسفورماتورکه ولتاژ دو سرآن‌کم است استفاده می‌شود.

علت یك سوشدن جریان متناوب را درلامپ دوقطبی می‌توان چنین توجیه‌کرد:

درنیم‌پریود اول، که‌آندمثبت‌است، الکترونها ازفضای بین‌کاتد وآند به‌سوی آندکشیده می‌شوند وجریان درمدار آند بر قرار می‌گردد. ولی درنیم پریود دوم‌که آند منفی است الکترونها از آن رانده





شکل ۹-۱۵ـ استفاده ازلامپ‌دوقطبی برای یك سوکردن‌جریان به صورت نیم موج.

می‌شوند وجریان درمدارآند قطع می‌شود. این نوع یك سوشدن جریان را یك‌سو شدن نیم موجی گویند برای این‌که جریان به‌صورت تمام موج یك سوشود از دودیود جداگانه یاازیك دیود مضاعف‌که دارای دو آند مستقل است استفاده می‌شود.

نوسان نگار کاتدی

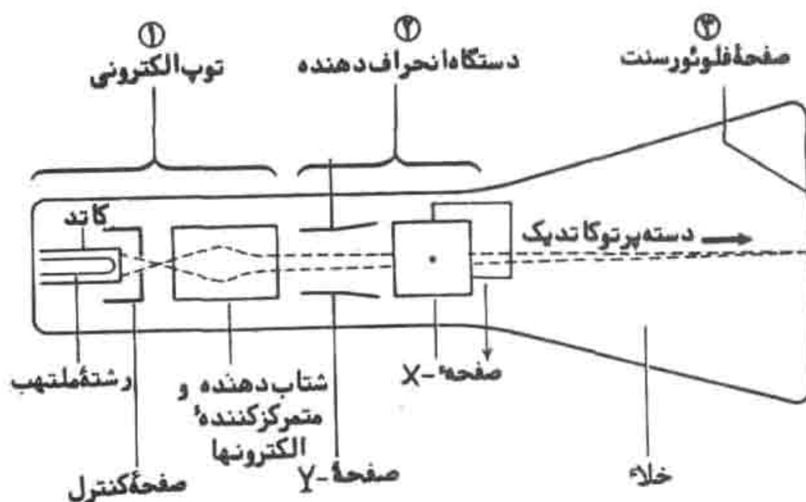
نوسان نگار (اسیلوگراف[1]) کاتدی اسبابی است‌که برای بررسی جریانها و ولتاژهای موجی‌شکل درمدارهای الکتریکی مختلف به‌کار می‌رود. به همین جهت، درکنترل وسایل‌الکترونیکی ورادیو و تلویزیون از آن استفاده‌می‌شود. مهمترین قسمت یك نوسان نگارکاتدی، لامپ‌مولد پرتوهای‌کاتدیك است و آن یك لامپ خالی ازهواست‌که درون آن سه دستگاه اساسی به شرح زیر تعبیه شده است (شکل ۹-۱۶):

۱- **توپ الکترونی**- متشکل از یك‌کاتد داغ‌برای پخش الکترون،که در مقابل آن یك سری آند به شکل حلقه و استوانه قرارداده شده است. پتانسیل آند نسبت به‌کاتد مثبت و خیلی زیاد است.

این مجموعه، هم به الکترونها شتاب می‌دهد و هم آنها را به‌صورت یك دسته پرتو باریك درمی‌آورد.

۲- **دستگاه انحراف دهنده**، که می‌تواند دسته پرتو کاتدیك را درراستاهای افقی وقائم منحرف‌کند و ازدوجفت صفحهٔ فلزی موازی تشکیل یافته‌است: یك جفت صفحهٔ افقی به نام **صفحه‌های Y** که دسته پرتو کاتدیك را در راستای قائم جا به‌جا می‌کند و یك جفت صفحهٔ قائم‌به‌نام «**صفحه‌های X**» که دسته پرتو را درامتداد افقی تغییرمکان می‌دهد.

فاصلهٔ هر دو صفحهٔ موازی از یکدیگر به



شکل ۹-۱۶- لولهٔ مولد پرتوهای‌کاتدیك مهمترین قسمت یك نوسان نگارکاتدی

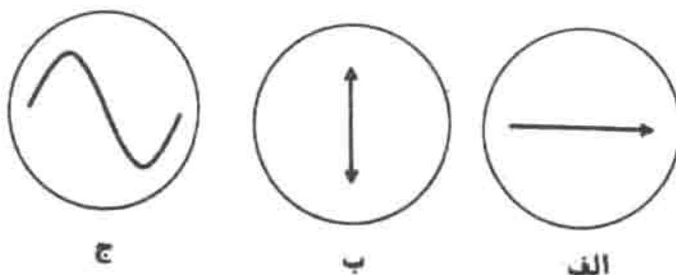
۱- Oscillograph

اندازهٔ مناسبی انتخاب شده است به طوری‌که وقتی دسته پرتوکاتدیك از میان آنها می‌گذرد به اندازهٔ کافی منحرف می‌شود.

۳ـ **صفحهٔ فلوئورسنت**، که در انتهای‌لامپ، جایی که دسته پرتوکاتدیك به‌جدار لامپ برخورد می‌کند قراردارد. در اثـر تـابش این دسته پـرتو برصفحهٔ فلوئورسنت، یك لکهٔ بسیارکوچك نورانی به رنگ سبز به وجود می‌آید. بسته بـه ولتاژهای متغیری که روی صفحه‌های X و Y برقرار می‌شود، این‌لکه روی صفحهٔفلوئورسنت جا به‌جا می‌گرددونموداری را که معرف تغییرات این ولتاژهاست ظاهر می‌سازد (شکل ۹-۱۷) . مثلا اگر اختلاف پتانسیلی روی صفحه‌های X بسته شودکه به‌طوریکنواخت با زمان افزایش یابد تا به ماکزیمم برسد و دوباره به وضع اول برگردد و مرتباً در زمانهای مساوی این عمل تکرار شود، لکهٔ نورانی باسرعت ثابت به‌طورافقی حرکت خواهدکرد.

درصورتی‌که فرکانس پتانسیل‌کم باشدحرکت لکه را می‌توان با چشم دید وتعقیب‌کرد ولی اگر فرکانس زیاد باشد (مثلا ۵۰ هرتز) حرکت لکه را دیگرنمی‌توان تعقیب‌کرد بلکه مسیرآن روی‌صفحهٔ فلوئورسنت بـه صورت یك خط افقی ظاهر خواهد شدکه‌می‌توان آن را محورسنجش زمان گرفت(شکل ۹-۱۷- الف).

اگر در این حالت ولتاژ متناوب ساده‌ای بین دوصفحهٔ Y برقرارشود لکهٔ نورانی علاوه برحرکت افقی، درامتداد قائم نیز نوسان خواهدکرد. این‌دو حرکت با هم ترکیب شده و درنتیجه، روی صفحـهٔ فلوئورسنت‌نموداری که‌معرف‌تغییرات ولتاژبرحسب زمان است ظاهر خواهد شد. درصورتی کـه پریود فرکانس ولتاژهای دوصفحهٔ X و Y با هم برابرباشد نمودار حاصل، به‌شکل یك نوسان‌کامل یایك موج ظاهر می‌شود (شکل ۹-۱۷- ج).



شکل ۹-۱۷- چگونه یك علامت
موجی شکل‌روی صفحهٔ نوسان نگار ظاهر می‌شود؟
الف- پتانسیل متغیر فقط روی صفحه‌های X
ب - پتانسیل متناوب فقط روی صفحه‌های Y
ج - پتانسیلهای متغیر هم پریود روی صفحه‌های X و Y

خودتان آزمایش کنید

نمودار ویژگی یك لامپ دوقطبی را رسم کنید

نمودار تغییرات شدت جریان درمدار آند یك‌لامپ دوقطبی را برحسب تغییرات اختلاف پتانسیلی که بین آندوکاتد این لامپ برقرار می‌شود «نمودار ویژگی» یا منحنی مشخصهٔ لامپ‌دو قطبی گویند.

بنابراین اگر شدت جریان در مدار آند را به I_a و اختلاف پتانسیل بین آندوکاتد را به V_a نشان‌دهیم این نمودار طرزتغییر I_a را به هنگام تغییر V_a نشان می‌دهدکه معمولا به‌شکل نمودار ۹-۱۸ است.

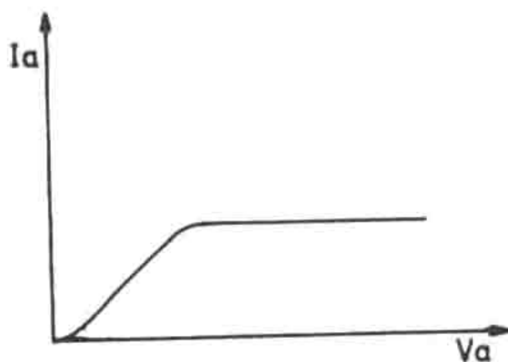
برای رسم این نمودار، لامپ دوقطبی راکه دراختیار دارید مطابق شکل ۹-۱۹ درمـدار قرار دهید. دقت‌کنیدکه اتصال پایه‌های زیرلامپ درجاهای خود به درستی انجام‌گیرد، زیرااگر ولتاژ زیادی‌که بایدروی صفحهٔ آندبسته شود اشتباهاً به دوسررشته‌که‌ولتاژکمی لازم داردبرقرار شود رشته خواهد سوخت. برای جلوگیری از این اشتباه باید نخست مـدار رشته را پیش از استفاده از ولتاژ زیاد ببندید و بـا بستن‌کلید، ازعبور جریـان از رشته مطمئن شوید و بـه‌کمك رئوستایی‌که درمدار رشته قرارداده‌اید شدت جریان را درحدی‌که‌کارخانهٔ سازندهٔ لامپ مشخص کرده است ثابت نگاه دارید.

پس ازتکمیل مدار رشته ولتاژ بین آندوکاتد را ۱۰ ولت به ۱۰ ولت بالا ببرید و شدت جریان در مدار آند را روی میلی آمپرسنج بخوانید ودرجدولی مانند جدول زیر یادداشت‌کنید.

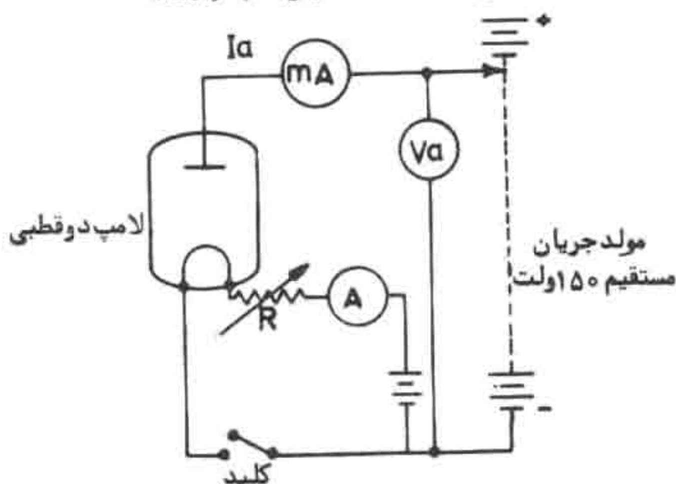
ولتاژ بین آندوکاتد (به ولت)	شدت جریان درمدار آند (به میلی‌آمپر)	ملاحظات

ولتاژ بین آندوکاتد را آن قدر بالا ببرید تا شدت جریان در مدار آند به بیشترین مقـدار خود برسد به این معنی‌که اگر این ولتاژ را بازهم بالا ببرید شدت جریان در مدار آنـد تغییر نکند وثابت بماند. دراین‌حالت تمام الکترونهایی‌که ازرشته خارج می‌شوند جذب آندمی گردند وشدت جریان درمدار آند به حد اشباع می‌رسد.

با انتخاب واحد مناسب، اندازه‌های ولتاژ بین آنـدوکاتد را برحسب ولت روی محور افقی واندازه‌های شدت جریان درمدار آند را برحسب میلی آمپرروی محور عمود برآن ببرید و نمودار ویژگی‌لامپ را رسم‌کنید، درصورتی‌که لامپهای دیگری دراختیار دارید نمودارویژگی آنها را نیز به همین طریق رسم‌کنید و آنها را با هم مقایسه‌کنید.



شکل ۹-۱۸- نمودار ویژگی لامپ ترمویونیک



شکل ۹-۱۹- مدار لامپ دوقطبی برای رسم نمودار ویژگی لامپ

نمودار ویژگی لامپ دوقطبی نشان می‌دهد که تغییرات شدت جریان با اختلاف پتانسیل درمدار آند این لامپ تابع قانون اهم نیست زیرا اگر این تغییرات تابع قانون اهم بود نمودار به شکل خط راست درمی‌آمد.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) الکترون چیست وجرم آن چه نسبتی با جرم اتم ئیدروژن دارد؟

۲) از پدیدهٔ ترمویونیک و پخش الکترون دراثر این پدیده چه می‌دانید؟

۳) با رسم یک شکل بزرگ، قسمتهای مختلف یک لولهٔ مولد پرتوهای کاتدیک را شرح دهید.

۴) چهار خاصیت ازخواص پرتوهای کاتدیك را بیان کنید و توضیح دهید که برای نشان دادن این خاصیتها، در صورتی که لازم باشد، چه تغییراتی باید در ساختمان لوله‌های مولد پرتوهای کاتدیك داده شود.

۵) با رسم یك شکل، لولهٔ مولد پرتوهای کاتدیکی‌را طرح ریزی کنید که کاتد آن یك‌رشته سیم ملتهب باشد. توضیح دهید که افزایش دمای رشتهٔ ملتهب، یا افزایش پتانسیل آند چه‌اثری بر روی الکترونهایی که پرتوهای کاتدیك را تشکیل می‌دهند خواهد گذارد.

۶) در روی صفحهٔ کاغذ، جریان باریکی از الکترونها را مجسم کنید که ازچپ به راست به طور افقی برقرار است و یك میدان مغناطیسی عمود برصفحهٔ کاغذ وجود داردکه قطب N آن درجلو وقطب S آن درعقب کاغذ است با رسم یك‌شکل، مسیر این دسته الکترونها را پس از انحراف درمیدان مغناطیسی، مشخص کنید.

۷) در نظر بگیرید که یك دسته الکترون در راستای افقی به طرف شما جلو می‌آید و ضمن عبور از یك میدان مغناطیسی یا از یك میدان الکتریکی به طرف راست منحرف می‌شود.

الف ـ اگر این میدان یك میدان مغناطیسی باشد درچه جهت است؟

ب ـ اگر این میدان یك میدان الکتریکی باشد درچه جهت است؟

۸) شکل یك لولهٔ مولد پرتوهای X راکه کاتد آن رشته ملتهب است با مدار الکتریکی آن به دقت رسم کنید و دربارهٔ طرزکار آن توضیح دهید.

۹) مواردکاربرد پرتوهای X راکه می‌دانید بیان کنید.

۱۰) چه عواملی بر روی طول موج پرتوهای X مؤثرند؟ چه عواملی بر روی شدت پرتوهای X مؤثرند؟

۱۱) اگر دمای رشته لامپ دوقطبی بالا برود چه تغییری درنمودار ویژگی لامپ حاصل می‌شود؟

۱۲) در یك لولهٔ مولد پرتوهای کاتدیك، الکترونها با سرعت $۵/۰ \times ۱۰^{۷} \frac{m}{s}$ ازکاتد به طرف‌آند در راستای افقی‌پرتاب می‌شوند وازیك‌میدان مغناطیسی قائم به‌شدت $۳/۵ \times ۱۰^{-۴} T$ عبور می‌کنند. چه نیرویی بر هریك از این الکترونها وارد می‌شود؟ اگر به جای الکترونها، پروتونها با همین سرعت حرکت‌کنند نیروی وارد برهر پروتون چه اندازه خواهد بود؟

پاسخ به پرسشهای متن

۹-۱) می‌دانید تغییر اندازه حرکت‌کل مولکولهایی که در واحد زمان به پره‌های چرخ

برخورد می‌کنند متناسب بانیرویی ا

چرخ می‌شود. $(Ft=m\Delta v)$

۹-۲) زیرا جرم الکترونها ناچیز است و با وجود تعداد زیاد وسرعت زیاد، انرژی آنها کافی نیست که چرخ پره‌دار را بچرخاند. علاوه بر این بیشتر الکترونها جذب پره‌های چرخ می‌شوند و روی آنها متوقف می‌گردند، درنتیجه تغییر اندازهٔ حرکت آنها زیاد نیست.

۹-۳) نه. زیرا انرژی، هم به وسیلهٔ امواج الکترومانیتیك وهم به وسیلهٔ ذرات ممکن است منتقل شود. این آزمایش نمی‌تواند مشخص کند کـه انرژی بـاکدام یك از این دو وسیله منتقل می‌گردد.

۹-۴) کافی است انگشت نشانهٔ دست چپ خود را درجهت میـدان مغناطیسی و انگشت میانی را درجهت جریان ازآند به‌کاتد بگیرید، انگشت شست جهت انحراف پرتوهـا را نشان می‌دهد.

۹-۵) درخلاف جهت انحراف اولیه (که با نزدیك‌کردن قطب N حاصل می‌شود).

۹-۶) بلی، مقدار کمی پرتو X تولید می‌شود به همین جهت توصیه می‌شود کـه خیلی نزدیك به صفحهٔ تلویزیون نباید نشست.

۹- ۷) برای این‌که بتوان پرتوهای X را به راحتی به خارج از لولـه هـدایت‌کرد و مورد استفاده قرارداد.

۱۰

ساختمان اتم ـ رادیواکتیویته

کشف الکترون سبب شد که تحقیقات تازه‌ای دربارهٔ شناخت ماده وساختمان اتم آغاز شود. بررسی همهٔ نظریه‌ها و عقیده‌های مختلفی که از اواخر قرن نوزدهم تاکنون دربارهٔ اتم و ساختمان آن اظهار شده است بحث مفصل و پیچیده‌ای است که ممکن است سبب آشفتگی ذهن شود. به این جهت ما در اینجا فقط به بیان تکامل این نظریه‌ها اکتفا می‌کنیم.

اتم رادرفورد ـ بور

در بخش ۱ گفتیم که تصور امروزی ما از ساختمان اتم این است که هر اتم از یك هستهٔ مرکزی تشکیل یافته است که تعدادی الکترون با ترازهای مختلف انرژی به دور آن می‌چرخند. ولی چنین تصوری فقط جنبهٔ ریاضی دارد و رسم یك شکل یا ارائهٔ یك مدل واقعی از ساختمان اتم با اطلاعاتی که درحال حاضر ازآن داریم مشکل است.

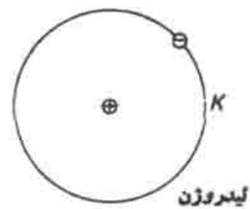
با وجود این استفاده ازمدل قدیمی که نخستین بار توسط رادرفورد پایه گذاری و به وسیلهٔ بور کامل شده است دربیشتر موارد برای توجیه پدیده‌ها کافی به نظرمی‌رسد.

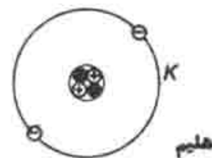
بنابر مدل اتمی «رادرفورد ـ بور»، هر اتم نمونهٔ بسیار کوچکی ازمنظومهٔ شمسی است که درآن هستهٔ اتم درحکم خورشید و الکترونها درحکم سیارات هستند که درمدارهای مشخصی به‌دورهسته می‌چرخند. تاکنون بیش‌ازصد عنصرشناخته شده است که پاره‌ای از آنها به طور مصنوعی تهیه شده‌اند، می‌دانید که ئیدروژن درمیان عناصر سبکترین آنهاست که فقط یك الکترون در مدار دارد و اورانیم سنگین‌ترین عنصر طبیعی است که دارای ۹۲ الکترون است. اسامی تمام عنصرها چه طبیعی و چه مصنوعی در جدول آخر این بخش درج شده است.

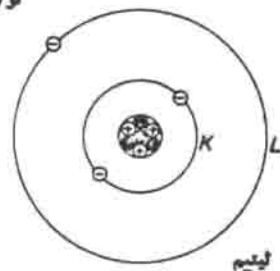
در شکل ۱۰-۱ ساختمان چهار اتم سبك با استفاده از مدل رادرفورد ـ بور نمایش داده شده است. ئیدروژن ساده‌تر ازهمه است که هستهٔ آن فقط از یك پروتون تشکیل یافته است؛ پروتون ذرهٔ **بارداری‌است که کوچکترین بارالکتریکی‌مثبت ومنفرد را داراست‌واندازهٔ بارالکتریکی‌آن برابر اندازهٔ بار** الکتریکی منفی تنها الکترونی است که روی یك مدار (اربیتال) به دور هسته می‌چرخد، به طوری که، مجموعهٔ این دوبار مثبت و منفی، اتم خنثای (بدون بارالکتریکی) ئیدروژن راتشکیل می‌دهند. بنا به نظریهٔ بور، همان طور که نیروی جاذبهٔ بین

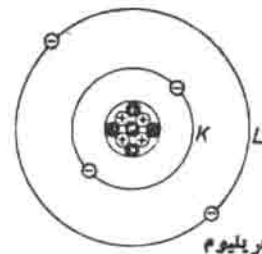
خورشید و سیاره‌ها، آنها را در مدارشان به دور خورشید نگه می‌دارد، نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین الکترون و هسته هم الکترونها را درمدارشان به دور هستهٔ اتم نگه می‌دارد.

اتم دومی که درشکل نشان داده شده است اتم عنصر گازی شکل به نام هلیم است که در هستهٔ آن دو پروتون همراه با دوذرهٔ بدون بارالکتریکی دیگر به نام نوترون است و دوالکترون مداری نیز دارد.









شکل ۱۵-۱- مدلهای اتمی رادرفورد - بور

اتم سوم، اتم عنصری است به نام لیتیم که فلز خیلی نرم و سفید رنگی است. در این اتم سه الکترون‌مداری به‌دورهسته‌ای که دارای سه‌پروتون و چهار نوترون است می‌چرخند. بعد ازلیتیم عنصر بریلیم است که آن هم یك فلز است. اتم بریلیم دارای چهار الکترون مداری وچهار پروتون و پنج نوترون است. الی‌آخر...

لایه‌های الکترونی

الکترونها به طور دائم با سرعت بسیار زیاد درمدارهایی به دورهسته می‌چرخند و مسیر آنها ضمن حرکت طوری تغییر می‌کندکه همواره دستهٔ معینی ازآنها روی یك لایهٔ مشخص قرارمی‌گیرند.

اتم بسته به بزرگی‌خود، ممکن است تاهفت لایهٔ مشخص با شعاعهای مختلف داشته باشد و این لایه‌ها باحروف K و L و M و N و O و P و Q معین می‌گردند. تعداد الکترونهایی که روی هریك ازاین لایه‌های هفت‌گانه قرار می‌گیرند محدود و مشخص است. مثلا روی لایهٔ K که نزدیکترین لایه به‌هسته است بیش از دوالکترون نمی‌تواند قرارگیرد. لایهٔ L که دومین‌لایهٔ نزدیك به‌هسته‌است با هشت‌الکترون کامل می‌شود. لایهٔ سومی حداکثر ۱۸ الکترون می‌تواند داشته باشد. به‌طوری‌که‌اگرشمارهٔ لایه را به n نمایش دهیم($n = ۱$ و ۲و۳و...) احتمال‌توزیع الکترونها روی هرلایه باعدد $۲n^۲$ مشخص‌می‌شود.

حجم یا بزرگی هراتم، فضایی است که به آخرین لایهٔ الکترونی یاپوستهٔ خارجی‌اتم محدودمی‌گردد. هستهٔ مرکزی اتم که قسمت عمدهٔ جرم اتم درآن متمرکز است حجم بسیارکوچکی از اتم را اشغال می‌کند به طوری‌که قطرآن درحدود $\frac{۱}{۱۰۰۰۰۰۰}$ تا

$\frac{1}{10000}$ قطر اتم است.

جرم هرالکترون بسیار کوچك و برابر $\frac{1}{1836}$ جرم پروتون (هستهٔ اتم ئیدروژن) است به طوری که می‌توان ازجرم الکترونها درمقابل جرم هسته صرف نظر کرد.

چگونه اتم نور تابش می‌کند. درحالت‌عادی هرالکترون برروی مداری‌که شعاع آن ثابت است حرکت می کند،درنتیجه، الکترون درمدارخوددارای تراز انرژی ثابت ومشخص است.

پرسش۱۰-۱- چرا اگرشعاع مدار الکترونی ثابت‌بماند انرژی الکترون نیزثابت‌می‌ماند؟

دراین‌حالت‌می‌توان گفت که اتم دارای حداقل انرژی است.اگرمقداری‌انرژی‌اضافی‌ازخارج‌به‌اتم‌داده شود، مثلا اگر به جسمی گرما داده شود، یا این‌که یونهای خیلی سریع درلولهٔ تخلیهٔ الکتریکی به اتمهای یك گاز برخورد کنند، اتم تحریك می‌شود، به این معنی‌که، یك یا چند الکترون از یك تراز انرژی به تراز انرژی بالاتر می‌رود. ولی اتمی‌که تحریك شده است نمی‌تواند مدت طولانی در حالت ناپایدار تحریك شده باقی بماند بنابراین الکترونها به تراز انرژی اصلی خود بازمی‌گردند و انرژیی‌که دریافت‌کرده‌اند به شکل انرژی تابشی به صورت بسته‌های بسیارکوچك انرژی به نام فوتون منتشر می‌سازند (شکل۱۰-۲)

به طورکلی، نور حاصل از هرنوع لامپ، به علت تابش میلیاردها فوتون است که از اتمهای تحریك شده خارج می‌شوند.

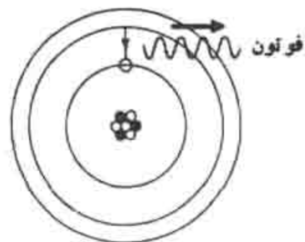
نه تنها تحریك اتمها سبب ایجاد نورمرئی می‌شود بلکه پرتوهای X و فوق بنفش و زیرقرمز نیز در اثر تحریك اتمهای ماده تولید می‌گردند.

عدد جرمی وعدد اتمی - ایزوتوپها

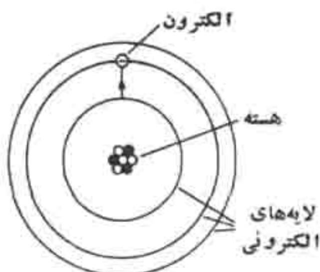
مجموع تعداد پروتونها و نوترونهای موجود در هستهٔ اتم را «عدد جرمی» اتم‌می‌نامند و به A نمایش می‌دهند.

تعداد پروتونهای موجود در هستهٔ اتم را «عدد اتمی» گویند وآن را به Z نمایش‌می‌دهند.

پرسش۱۰-۲- چه‌رابطه‌ای بین‌عدداتمی وتعداد الکترونهای مداری اتم برقرار است؟



وقتی‌که الکترون ازلایهٔ با انرژی بیشتر به لایهٔ‌اصلی خود بر می‌گردد انرژی دریافتی را به صورت فوتون تابش می‌کند



وقتی که الکترون انرژی دریافت می‌کند از لایهٔ اصلی خود به لایه‌ای‌که انرژی آن بیشتر است می‌رود.

شکل ۱۰-۲ چگونه اتم نور تابش می‌کند؟

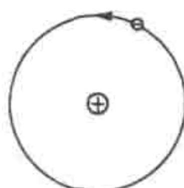
را به N نمایش دهیم خواهیم داشت.

$$A=Z+N$$

چنان‌که می‌دانیدعناصررا برحسب عدداتمی‌شان درجدولی ردیف کرده‌اندکه‌آن را جدول تناوبی عناصریا جدول‌مندلیف گویند زیرا این‌جدول نخستین بار توسط مندلیف شیمی‌دان روسی تنظیم شده‌است.

می‌دانید از یك عنصر صورتهـای متفـاوت دیگری نیز وجود دارد که آنها را «ایزوتوپ» آن عنصر گویند بـه این معنی کـه عدد اتمی (تعـداد پروتونهای) همه ایزوتوپهای یك عنصر یکی است ولی‌تعدادنوترونهای‌درون هسته متفاوت وبنابراین عـدد جرمی آنهـا متفاوت است. همـهٔ عنصرهای طبیعی دارای ایزوتوپ هستند مثلا ئیـدروژن کـه سبکترین عناصراست دارای دوایزوتوپ دیگربه نام دوتریم (ئیـدروژن سنگین) و تری‌تیم است (شکل ۱۰-۳). دوتریم علاوه بر پروتـون، یك نوترون و تری‌تیم، دو نوترون درهسته دارد.

می‌دانیدکه در شیمی بـرای نشان دادن هـر عنصرعلامت اختصاری خاصی به‌کار می‌برنـد کـه شاخص‌آن عنصر است. فیزیك‌دانها هم همین‌علامات اختصاری را برای نشان دادن هسته‌هـای مختلف به‌کار می‌برند ولی دوعددکه به ترتیب معرف«عدد جرمی» و «عدد اتمی» عنصر است در بـالا و پایین علامت اختصاری قرار می‌دهند. مثلا، ایزوتوپهای ئیدروژن به صورت $^{1}_{1}H$ و $^{2}_{1}H$ و $^{3}_{1}H$ وایزوتوپهای کلر به صورت $^{35}_{17}Cl$ و $^{37}_{17}Cl$ نوشته می‌شود.



ئیدروژن
$^{1}_{1}H$



دوتریم
$^{2}_{1}H$



تریتیم
$^{3}_{1}H$

شکل ۱۰-۳- نمایش ساده‌ای از ایزوتوپهای ئیدروژن طبق مدل رادرفورد - بور

رادیواکتیویته

درسال ۱۸۹۶ میلادی هانری بکرل[1] استاد فیـزیك دانشگـاه پـاریس ضمن بـررسی خـاصیت فلوئورسـانس‌دراجسام، کشف‌کردکه‌ازنمکهای‌اورانیم پرتوهایـی خارج می‌شود که برصفحهٔ عکاسی اثر می‌کنند. روش بکرل این بودکه صفحه‌های حساس

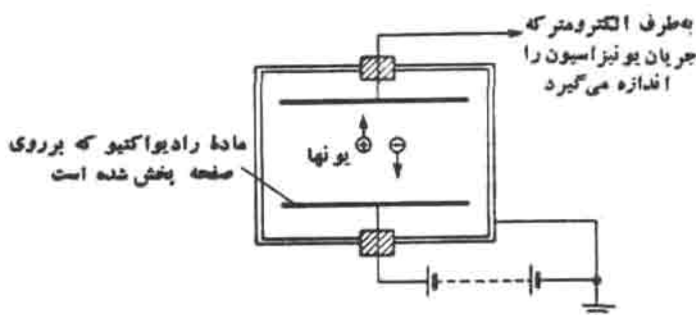
1- Henri Becquerel (۱۸۵۲-۱۹۰۸م)

عکاسی را درلفافه‌هایی ازکاغذ سیاه کاملا می‌پوشانید و بلورهای مواد مختلف را روی آنها می‌گذاشت و مدتی درآفتاب قرار می‌داد. سپس با ظاهرکردن صفحهٔ حساس، خاصیت فلوئورسانس‌بلور را بررسی می‌کرد. به این معنی‌که اگر بلور پرتوهایی تابش می‌کرد، این پرتوها مانند پرتوهای X ازکاغذ لفافه می‌گذشت و روی صفحهٔ حساس عکاسی اثر می‌گذاشت. بکرل با این روش مواد مختلفی راکه در مقابل‌نورآفتاب خاصیت فلوئورسانس پیدا می‌کردند آزمایش‌کرد ولی‌نتیجهٔ مثبت نگرفت تا این‌که‌آزمایش را بایکی ازنمکهای‌اورانیم انجام داد. این بارنتیجه مثبت بود و روی صفحهٔ حساس عکاسی یك‌لکهٔ‌سیاه دیده شد.

بکرل با ادامهٔ آزمایشهای خود متوجه شد که نمك اورانیم اگر در نورآفتاب هم واقع نشود، حتی درتاریکی، ازخود پرتوهایی منتشر می‌کند که به همان شدت برصفحهٔ حساس عکاسی اثرمی‌گذارد و اظهارداشت‌که نمکهای اورا نیم خود به خود دارای خاصیت فلوئورسانس‌هستند، ولی عامل‌انتشار چنین پرتوهای نافذی از نمکهای اورانیم چیز دیگری غیر از خاصیت‌فلوئورسانس بود! این‌خاصیت جدید «رادیواکتیویته» نامیده شد.

کشف مواد رادیواکتیو تازه

در پاریس، دو دانشمند دیگر به‌کشف هانری بکرل‌علاقه مند شدند. این دودانشمند ماری‌کوری[1] و شوهرش پیرکوری[2] (که بعدها استاد دانشگاه پاریس شد) بودند، وتحقیقات بکرل‌را دنبال‌کردند. کوریها متوجه شدندکه پرتوهای حاصل ازاورانیم مولکولهای هوا را یونیزه می‌کند و براساس این خاصیت شدت تابش این پرتوها را اندازه گرفتند. شکل ۱۰-۴ طرح سادهٔ اسبابی را نشان می‌دهد که آنان برای اندازه گیریهای خود به کار بردند. این اسباب ازیك جعبهٔ فلزی به‌نام «اتاقك‌یونیزاسیون» تشکیل شده است‌که درون‌آن دوصفحهٔ فلزی مقابل هم قرارداده شده‌اند. بدنهٔ جعبه به‌زمین وصل شده



شکل۱۰-۴- چگونگی اندازه‌گیری رادیواکتیویته به وسیلهٔ اتاقك یونیزاسیون (توسط کوریها)

1- Marie Curie (۱۸۶۷-۱۹۳۴م)

2- Pierre Curie (۱۸۵۹-۱۹۰۶م)

است و دو صفحهٔ فلزی با عایق ازآن جدا شده‌اند. صفحهٔ پایینی به وسیلهٔ باتری الکتریکی به پتانسیل زیادی برده شده و صفحهٔ بالایی به یك الکترومتر (دستگاه سنجش مقدار الکتریسیته) متصل است.

اگرقدری مادهٔ رادیواکتیو روی صفحهٔ پایینی پخش شود پرتوهای حاصل ازآن مولکولهای هوای بین دوصفحه را یونیزه می‌کنند و یونهای مثبت و منفی بـه سبب وجود میدان الکتریکی میـان دو صفحه درخلاف جهت هم به سوی صفحه‌ها حرکت می‌کنند وجذب آنها می‌شوند درنتیجه جریان‌ضعیفی ایجاد می‌شودکه می‌توان آن را با الکترومتر اندازه گرفت. چون شدت جریـان حاصل بـا شدت تابش مادهٔ رادیواکتیو متناسب است با اندازه‌گیری‌شدت جریان میزان شدت مادهٔ رادیواکتیو برآورد می‌شود.

کوریها ضمن بررسیهای خود پی بردند کـه مواد محتوی توریم، نیز مـانند نمکهـای اورانیم رادیواکتیو هستند وازخودپرتوهای یونیزه‌کننده‌ای پخش می‌کنند. مهمتر این‌که آنان‌کشف‌کردندکه در یك نوع سنگ معـدنی اورانیم بـه نام پیچبلاند[1] خاصیت رادیواکتیویته شدیدتر از آن خود اورانیم است. دولت اتریش پس از اطـلاع از این موضوع یك هزار کیلوگرم از باقیمانده‌های پیچبلاند را که اورانیم آنها استخراج شده بود در اختیار کوریهـا گذارد وآنان پس‌ازچندین هفته‌کار مداوم وپرزحمت ازآن همه سنگ معدنی مقدار کمی عنصر ناشناختهٔ رادیواکتیو به‌دست آوردند وآن را به افتخارزادگاه ماری‌کوری (پولَند=لهستان) پولونیم نام نهادند و با ادامهٔ تحقیقات خود بر روی همین سنگهـای معدنی عنصر رادیواکتیو تازهٔ دیگری کشف کردند که خاصیت رادیواکتیویتهٔ آن خیلی شدیدتر بود و آن را رادیم نامیدند. اینك لازم بود که قدم بعدی دربارهٔ شناخت ماهیت پرتوهای یونیزه‌کننده‌ای که از این عناصر تازه پخش می‌شد برداشته شود.

ماهیت پرتوهایی‌که از مواد رادیواکتیو خارج می‌شوند

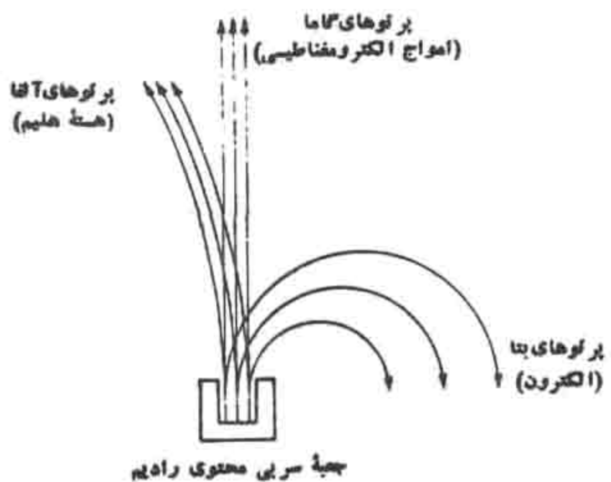
در سال ۱۸۹۹ میلادی رادرفورد تحقیقـات دامنه‌داری دربارهٔ شناخت ماهیت پرتوهای حاصل ازمواد رادیواکتیو به‌عمل‌آورد. زمینهٔ این‌تحقیقات از پیش فراهم بود زیرا، هم بکرل و هم کوریهـا یادآورشده بودندکه قسمتی ازپرتوهای رادیواکتیو درست مانند پرتوهای‌کاتدیك در میـدان مغناطیسی منحرف می‌شوند ومانند آنها دارای بارمنفی هستند و قسمت دیگر دارای بارمثبت بوده در خلاف جهت پرتوهای‌کاتدیك‌منحرف‌می‌گردندعلاوه‌براین‌مشاهده شده‌بودکه قسمتی ازپرتوهای رادیواکتیو هم مانند پرتوهای X درمیدان مغناطیسی منحرف نمی‌شوند.

نتیجهٔ تحقیقات رادرفورد هم منجر به‌شناسایی سه نوع تابش شد و بـرای سهولت بیان رادرفورد آنها را پرتوهای آلفا (α) و بتا (β) و گـاما (γ) نام نهاد. وی مقدارکمی رادیم در تـه یك محفظهٔ سربی گذاشت ویك آهن‌ربـای بسیار قوی عمود بر مسیر پرتوها قرارداد بـه طوری که راستای میدان حاصل ازآن برمسیر پرتوهـا عمود بود، پرتوهای آلفا وبتا به هنگام عبور از این میـدان در دوجهت

1- Pitchblende

مخالف هم منحرف شدند و پرتوهای گاما بدون انحراف ازمیدان گذشتند.

ماری کوری نتایج حاصل ازچند آزمایش‌را در شکلی‌مانندشکل ۷ -۵خلاصه کرده است. بایدتوجه داشت که این شکل، نمایشی از ترکیب سه نوع پرتوهای نامبرده است و بررسی هرسه نوع پرتو با هم دریك آزمایش غیرممکن است.



شکل ۵-۱۰ـ نمایشی از انحراف پرتوهای رادیواکتیو درمیدان مغناطیسی

ما دراین کتاب نمی‌توانیم همهٔ آزمایشهایی را که منجر به کسب اطلاعات امروزهٔ ما دربارهٔ تابش رادیواکتیو شده است شرح دهیم ولی لازم می‌دانیم که خواص عمدهٔ پرتوهای رادیواکتیو را به اختصار بیان کنیم:

پرتوهای آلفا [1] هسته‌های هلیم هستند یعنی اتمهای هلیمی که دوالکترون خود را ازدست‌داده‌اند بنابراین، دارای بارالکتریکی مثبت هستند.

تمام ذرات آلفایی که از یك مادهٔ رادیواکتیو خاص به بیرون پرتاب می‌شوند تقریباً دارای یك سرعت هستند. برد این ذرات درهوا (یعنی مسافتی که می‌پیمایند تامتوقف شوند) درحدود چندسانتیمتر است ولی یك ورقهٔ خیلی نازك آلومینیم‌یا یك‌ورقهٔ کاغذ معمولی آنها را متوقف می‌کند.

پرتوهای بتا جریانی از الکترونهای پر انرژی هستند که خیلی شبیه به پرتوهای کاتدیك هستند. سرعت انتشار آنها ازمواد رادیواکتیو متفاوت است وتا نزدیك سرعت مسیر نورمی‌رسد. پرتوهای‌بتایی که انرژی بیشتری دارند از ورقه‌های آلومینیم به ضخامت چند میلیمتر می گذرند.

پرتوهای گاما از فوتونهای پر انرژی تشکیل یافته‌اند و ازجنس پرتوهای X هستند. قابلیت نفوذ پرتوهای گامای پر انرژی درماده خیلی زیاد است و فقط درقطعات سرب ضخیم به ضخامت چندین سانتیمتر جذب می‌شوند. فرق اساسی بین پرتوهای گاما و پرتوهای X دراین است‌که پرتوهای گاما از تغییرات میزان انرژی در هستهٔ اتم به وجود می‌آیند درصورتی که پرتوهای X از تغییر انرژی در الکترونهای اتم حاصل می‌شوند.

نیمه عمرمادهٔ رادیواکتیو

باید درنظر داشت‌که خاصیت رادیواکتیویته در یك مادهٔ رادیواکتیو به تدریج کاهش می‌یابد.

به عبارت دیگر، هر مادهٔ رادیواکتیو عمر مشخصی‌دارد ،زیرا، پرتوهای رادیواکتیوازمتلاشی

۱ــ درواقع " پرتوآلفا" اصطلاح مناسبی‌نیست و بایدذرهٔ آلفاگفته شود . ولی مجموعهٔ این ذرات ریزآلفا را که ازمادهٔ رادیواکتیو به خارج پرتاب می‌شوند پرتوهای آلفانامیده‌اند .

...دن هستهٔ اتم به‌دست می‌آیند وعمل متلاشی‌شدن هسته در اتمهای هرمادهٔ رادیواکتیو با نظم معینی صورت می‌گیرد که خاص آن ماده است و دراثر این عمل، مادهٔ رادیواکتیو به‌مادهٔ دیگر تبدیل می‌شود.

دانشمندان برای مادهٔ رادیواکتیو «نیمه‌عمر» تعریف کرده‌اند. نیمه عمر هرمادهٔ رادیواکتیوزمانی است که درآن زمان فقط نصف اتمهای رادیواکتیو موجود درآن ماده متلاشی می‌شوند. مثلا رادیم دارای نیمه عمر ۱۶۲۰ سال است، به این معنی که اگر یك گرم رادیم هم اکنون داشته باشیم پس از گذشت ۱۶۲۰ سال ۰٫۵ گرم آن استحاله یافته به عناصردیگرتبدیل‌می‌شود ونیم گرم آن دست‌نخورده باقی‌می‌ماند.پس از گذشت ۱۶۲۰ سال دیگر، نصف آنچه باقی مانده است (یعنی ۰٫۲۵ گرم) استحاله پیدا می‌کند تا آخر...

نیمه عمر عناصر رادیواکتیو بسیار متفاوت است. مثلا نیمه‌عمررا ون ۴ روز ونیمه عمراورانیم $۴٫۵ \times ۱۰^{۹}$ سال است.

پرسش ۱۰-۳ـ دومادهٔ رادیواکتیو که خاصیت رادیواکتیویته در هر دو یکسان است دارای نیمه عمرمتفاوتند. درکدام یك از این دوماده شدت تابش پرتوهای رادیواکتیو بیشتر است؟

کاربرد ایزوتوپهای رادیواکتیو

الف ـ درپزشکی ـ پاره‌ای از ایزوتوپهای رادیواکتیو یا به عبارت دیگر، «رادیو ایزوتوپها»، در بعضی ازاعضای درونی‌بدن جذب می‌شوند. خاصیت جذب رادیوایزوتوپها دراعضای بدن، انتخابی‌است یعنی هر عضو، رادیو ایزوتوپ ویژه‌ای را جذب می‌کند. درنتیجه، غلظت مادهٔ رادیو ایزوتوپ، در آن عضوزیاد می‌شود. مثلا، ید رادیواکتیو درغدهٔ تیروئید زیاد جذب می‌شود. رادیو ایزوتوپها در پزشکی به عنوان «ردیاب» به‌کار می‌روند یعنی، مقادیر خیلی کم از رادیو ایزوتوپهایی که خاصیت رادیواکتیویتهٔ آنها ضعیف است به مریضها تزریق می‌شود. این مواد وارد خون شده وضمن گردش در بدن، درعضو موردنظر جمع می‌شوند و تمرکزآنها درعضو به‌وسیلهٔ دستگاه‌سنجش رادیواکتیویته‌مشخص می‌گردد.

ب ـ درکشاورزی وصنعت ـ فن ردیابی به وسیلهٔ رادیو ایزوتوپها درکشاورزی وصنعت نیز به کار می‌رود: درکشاورزی برای مطالعهٔ این‌که مواد شیمیایی موجود درکودهای مصنوعی چگونه و به چه اندازه جذب گیاهان می‌شود و در صنعت برای تعیین میزان فرسایش قطعات فلزی ماشینهاکه دائماً درحرکت بوده وساییده می‌شوند. طرز کار این است که به مصالح ساختمانی این قطعات، مقدارکمی‌مادهٔ رادیو ایزوتوپ اضافه می‌کنند و ماشینها را به کار می‌اندازند و با اندازه‌گیری میزان رادیو اکتیویته درمایع یا درروغنی‌که برای سردکردن‌آنها مصرف می‌شود میزان فرسایش قطعات را اندازه می‌گیرند.

در صنایع کاغذ سازی و پلاستیك سازی با اندازه‌گیری میزان جذب پرتوهای گاما، ضمن‌عبور از ورقه‌های‌کاغذ یا پلاستیك، ضخامت ورقه‌ها را به طور خودکارکنترل می‌کنند.

پرسش ۱۰-۴ـ به‌نظرشما، آیامی‌توان بااستفاده از خاصیت جذب پرتوهای گاما، یکنواخت بودن ضخامت ورقه‌های فلزی را نیز کنترل کرد؟

پرتوهای گامای حاصل‌ازکبالت ۶۰ (کبالت با جرم اتمی ۶۰ که ایزوتوپ رادیواکتیو کبالت

است) به‌جای پرتوهای X در رادیوگرافی ومعالجهٔ سرطان نیز به‌کار می‌رود. کاربرد رادیو ایزوتوپ کبالت به جای پرتوهای X این مزیت را داردکه حمل و نقل آن آسانتر است و پتانسیل الکتریکی زیادکه دردستگاههای مواد پرتوهای X به‌کار می‌رود لازم نیست.

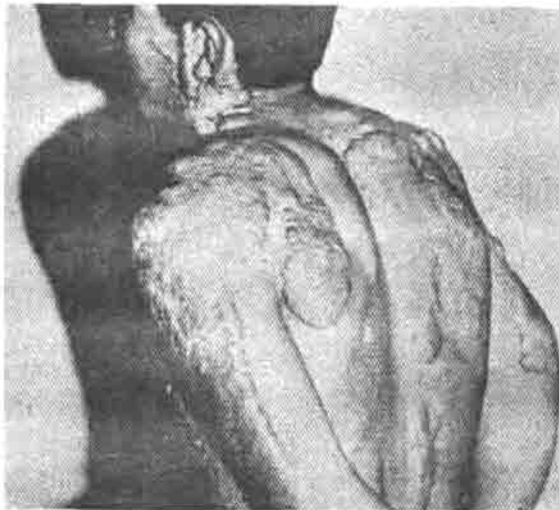
لزوم‌حفاظت دربرابرپرتوهای رادیواکتیو

با مواد رادیواکتیو باید با نهایت دقت و احتیاط‌کاربشود. زیرا پرتوهای رادیواکتیو درروی بدن اثرنامطلوب دارند. هرچند هم میزان تابش رادیواکتیویته کم باشد اگر بدن مدت طولانی در معرض تابش رادیواکتیوقرارگیرد ممکن است ایجاد سرطان خون‌کند وهمین عامل سبب مرگ مادام کوری شد. متأسفانه پرتوهای رادیواکتیو مرئی نیستند به همین جهت انسان نمی‌تواند تشخیص‌دهد که درمعرض خطر تابش آنها قرارگرفته است. خطر پرتوهای آلفاکمتراست زیرا مستقیماً‌نمی‌توانندوارد بدن شوند یعنی از پوست بدن نمی‌توانند بگذرند مگرآن که با هوا یا آب یا مواد غذایی وارد بدن شوند و جذب خون گردند.

جلو پرتوهای بتا را می‌توان به وسیلهٔ ورقهٔ حفاظ آلومینیمی یا پرسپکس‌که چند میلیمتر ضخامت داشته باشندگرفت.

برای‌حفاظت درمقابل‌پرتوهای گاما حفاظهای سربی لازم است. یعنی مادهٔ رادیواکتیوی که پرتو گاما تابش‌می‌کند بایددرون محفظهٔ سربی قرارگیرد.

خوردن وآشامیدن مواد رادیواکتیو ممنوع است. درآزمایشگاه پس ازکار با مواد رادیواکتیو باید دستها به دقت شسته شوند و با وسایل‌تابش‌سنج امتحان گردند. روپوشهای آزمایشگاهی باید دائماً ازنظر آلوده شدن به مواد رادیواکتیوامتحان



شکل ۱۵-۶- سوختگی وحشتناک حاصل از تابش پرتوهای گاما روی بدن در بمباران اتمی شهر هیروشیما در ژاپن بوسیله نیروی هوایی امریکا (در سال ۱۹۴۵ میلادی)

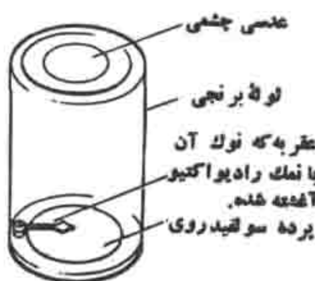
شوند. چشمه‌های رادیواکتیو قویتر حفاظت‌بیشتری لازم دارند وکارکردن با آنها دقت واحتیاط بیشتری می‌خواهد.

پاره‌ای از ایزوتوپهای مصنوعی رادیواکتیو که نیمهٔ عمر کوتاهی در حدود چند روز یا چند هفته دارند پس از گذشت این مدت بی‌ضرر می‌شوند و به همین جهت‌آنها را درپزشکی یادرصنعت وکشاورزی به‌کار می‌برند.

خودتان آزمایش کنید

شکل۱۰-۷ اسبابی را نشان می‌دهدکه برای شمردن ذرات آلفایی‌که از یك مادهٔ رادیو-اکتیو خارج می‌شوند به کار می‌رود. این اسباب توسط‌کروکس ساخته شده است و «اسپین تاریسکوپ» نام دارد واز یك لولهٔ‌کوتاه برنجی تشکیل یافته است‌که درته آن صفحه‌ای آغشته به یك لایهٔ نازك سولفید روی قراردارد. درست دربالای این صفحه، یك عقربهٔ کوچك، مانند عقربهٔ ساعت مچی نصب شده است و درنوك عقربه مقدار خیلی کمی از یك مادهٔ «رادیواکتیو-دهندهٔ آلفا» مانند اورانیم وجود دارد. بالای لوله به وسیلهٔ یك ذره بین بسته شده است. ذرات آلفا که ازمادهٔ رادیواکتیو خارج می‌شوند در محل برخورد خود به لایهٔ سولفید روی نقاط درخشنده‌ای مانند جرقه تولید می‌کنندکه می‌توان آنها را شمرد.

اگرچنین دستگاهی دراختیار دارید نقاط درخشنده‌ای که درمدت معین، مثلا ۱۰ دقیقه روی صفحهٔ سولفید روی به وجود می‌آیند بشمارید و تعداد ذرات آلفایی راکه در هردقیقه به این صفحه برخورد می‌کنند حساب‌کنید. می‌توانید با راهنمایی دبیر فیزیك خود چنین دستگاهی بسازید.



شکل۱۰-۷- اسپین تاریسکوپ

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) شکل سادهٔ اتم ئیدروژن و ایزوتوپهای آن را نمـایش دهید و اجزای تشکیل دهندهٔ آنها را نام ببرید.

۲) سه نوع پرتوهایی را که ازمواد رادیواکتیو خارج می‌شوند نام ببرید وخواص آنها را شرح دهید.

۳) اصطلاحات عدد جرمی وعدد اتمی را تعریف‌کنید.

اگر $^{58}_{29}Cu$ و $^{60}_{28}Ni$ به ترتیب نمایش هستهٔ اتمهای مس ونیکل باشد هریك ازاعدادی که در بالا و پایین این علامات اختصاری گذارده شده است معرف چیست؟ چند نوترون در هر یك از این هسته‌ها وجود دارد؟

۴) قلع (Sn) بیست و پنج ایزوتوپ داود که سبکترین آنها به صورت $^{108}_{50}Sn$ است بـا درنظر گرفتن این‌که تمام ایزوتوپهایی‌که امکان وجودآنها هست موجود باشندعلامت اختصاری سنگین‌ترین ایزوتوپ قلع را بنویسید.

۵) نیمهٔ عمر فسفر رادیواکتیو ۱۴ روز است. اگر۲ گرم از این مـاده را در محفظه‌ای داشته باشیم پس از ۲۸ روز چه مقدار ازآن دست نخورده باقی می‌ماند؟

۶- به نظرشما گرما وفشار چه اثری بریك مادهٔ رادیواکتیو دارد؟

پاسخ به پرسشهای متن

۱۰-۱) زیرا سرعت الکترون ثابت می‌ماند ودرنتیجه الکترون روی مدار مشخصی حرکت می‌کندکه تراز انرژی آن ثابت است.

۱۰-۲) (عدد اتمی) Z = تعداد پروتونها = تعدادالکترونها.

۱۰-۳) رادیو ایزوتوپی که دارای نیمه عمرکوتاهتر است شدت تابش بیشتری دارد.

۱۰-۴) بلی، پرتوهای گاما درفلزات نیزجذب می‌شوند وهرچه ضخامت ورقهٔ فلزی بیشتر باشد میزان جذب این پرتوها نیز بیشتراست.

جدول عنصرها

Atomic number Z	*Symbol*	*Name*	*Atomic number Z*	*Symbol*	*Name*
1	H	Hydrogen	54	Xe	Xenon
2	He	Helium	55	Cs	Caesium
3	Li	Lithium	56	Ba	Barium
4	Be	Beryllium	57	La	Lanthanum
5	B	Boron	58	Ce	Cerium
6	C	Carbon	59	Pr	Praseodymium
7	N	Nitrogen	60	Nd	Neodymium
8	O	Oxygen	61	Pm	Promethium
9	F	Fluorine	62	Sm	Samarium
10	Ne	Neon	63	Eu	Europium
11	Na	Sodium	64	Gd	Gadolinium
12	Mg	Magnesium	65	Tb	Terbium
13	Al	Aluminium	66	Dy	Dysprosium
14	Si	Silicon	67	Ho	Holmium
15	P	Phosphorus	68	Er	Erbium
16	S	Sulphur	69	Tm	Thulium
17	Cl	Chlorine	70	Yb	Ytterbium
18	A	Argon	71	Lu	Lutetium
19	K	Potassium	72	Hf	Hafnium
20	Ca	Calcium	73	Ta	Tantalum
21	Sc	Scandium	74	W	Tungsten
22	Ti	Titanium	75	Re	Rhenium
23	V	Vanadium	76	Os	Osmium
24	Cr	Chromium	77	Ir	Iridium
25	Mm	Manganese	78	Pt	Platinum
26	Fe	Iron	79	Au	Gold
27	Co	Cobalt	80	Hg	Mercury
28	Ni	Nickel	81	Tl	Thallium
29	Cu	Copper	82	Pb	Lead
30	Zn	Zinc	83	Bi	Bismuth
31	Ga	Gallium	84	Po	Polonium
32	Ge	Germanium	85	At	*Astatine*
33	As	Arsenic	86	Rn	Radon
34	Se	Selenium	87	Fr	*Francium*
35	Br	Bromine	88	Ra	Radium
36	Kr	Krypton	89	Ac	Actinium
37	Rb	Rubidium	90	Th	Thorium
38	Sr	Strontium	91	Pa	Protactinium
39	Y	Yttrium	92	U	Uranium
40	Zr	Zirconium	93	Np	*Neptunium*
41	Nb	Niobium	94	Pu	*Plutonium*
42	Mo	Molybdenum	95	Am	*Americium*
43	Tc	*Technetium*	96	Cm	*Curium*
44	Ru	Ruthenium	97	Bk	*Berkelium*
45	Rh	Rhodium	98	Cf	*Californium*
46	Pd	Palladium	99	E	*Einsteinium*
47	Ag	Silver	100	Fm	*Fermium*
48	Cd	Cadmium	101	Mv	*Mendelevium*
49	In	Indium	102	No	*Nobelium*
50	Sn	Tin	103	Lw	*Lawrencium*
51	Sb	Antimony	104	Ku	*Kurchatovium*
52	Te	Tellurium	105	Ha	*Hahnium*
53	I	Iodine			

عناصری‌که‌در این جدول با حروف ایتالیک نوشته شده‌اند در طبیعت یافت نمی‌شوند و به طور مصنوعی تهیه می گردند .



منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

۱- Ordinary Level Physics. A. F. Abbott.

۲- Physics. Edited by D. W. Scott. M. A.

۳- College Physics. Physical Science. Study Committee.

۴- Foundation of Physics. Robert L. Lehrman Clifford Swartz.

۵- Physics. Irwin Genzer. Phillip Youngner.

۶- Physics, Taffel.

۷- The science of Physics. Arthur Beiser.

۸- Modern Physics. Charles E. Dull. A. Clark Metcalfe. William O. Brooks.

۹- Physique. J. Cessac. Q Treherne 1eC

۱۰- Physique Generale. H. Brasseur. H. Sauvernier.

۱۱- Electrostatique. Courants Continus. Magnetisme. P. Fleury et J.P. Mathieu.

۱۲- A Contemporary Wiew of Elementary Physics. Borowitz and Bornstein.

۱۳- Physics, David Halliday, Robert Resnick, Part 2.

۱۴- Project Physics.

۱۵- Modern College Physics, Harvey e. White.

۱۶- Elements of Physics, Alpheus W. Smith and John N. Cooper.

